

TREBALL FI DE GRAU

**Grau en Enginyeria Mecànica**

**DESENVOLUPAMENT D'UN PROJECTE DE REC  
ARTIFICIAL PER A UN CIRCUIT DE PROVES DE  
MOTOR**



**Memòria i Annexos**

**Autors:** Daniel S. Esparragoza Machado  
Sergio Martín García  
**Director:** Josep Pardina Ribas  
**Convocatòria:** Juny 2018



## Resum

Aquest projecte tracta el disseny de les instal·lacions necessàries per implantar un sistema de rec artificial sobre la pista d'un circuit de carreres, en concret el Circuit de Barcelona-Catalunya. Es dissenya la instal·lació hidràulica de rec, es distribueixen dipòsits, s'amplia la xarxa de drenatge existent i es determinen les dimensions d'una depuradora pel tractament de l'aigua recollida tant de la pluja com del propi rec. Un dels criteris més importants és la recuperació de la màxima quantitat possible d'aigua utilitzada.

Es realitza el càlcul i justificació de les dimensions de les instal·lacions necessàries i s'elaboren els diferents plànols que defineixen completament i sense ambigüitat les obres i modificacions a realitzar en el circuit. A més, el projecte compta amb documents típics d'un projecte executiu com el plec de condicions i el pressupost, on es realitza una anàlisi dels costos i el període de retorn de la inversió. Es duu a terme, també, un estudi de la portabilitat del projecte a d'altres latituds del globus, permetent una aproximació del cost total de les instal·lacions en dependència amb la localització del circuit. El resultat és un projecte complet capaç de caracteritzar tots els aspectes i detalls esperats d'un projecte d'instal·lacions, preparat per la realització de les obres projectades per complir els principals objectius.

## Resumen

Este proyecto aborda el diseño de las instalaciones necesarias para implantar un sistema de riego artificial sobre la pista de un circuito de carreras, en concreto el Circuit de Barcelona-Catalunya. Se diseña la instalación hidráulica de riego, se distribuyen depósitos, se amplía la red de drenaje existente y se determinan las dimensiones de una depuradora para tratar el agua recogida tanto por lluvia como por el propio riego. Uno de los criterios más importantes es la recuperación de la máxima cantidad posible de agua utilizada.

Se realiza el cálculo y justificación de las dimensiones de las instalaciones necesarias y se elaboran los distintos planos que definirán completamente y sin ambigüedad las obras y modificaciones a realizar en el circuito. Además, el proyecto cuenta con documentos típicos de un proyecto ejecutivo como el pliego de condiciones y el presupuesto, donde se realiza un análisis de los costes y del periodo de retorno de la inversión. Se lleva a cabo, también, un estudio de la portabilidad del proyecto a otras latitudes del globo, permitiendo una aproximación del coste total de las instalaciones en dependencia con la localización del circuito. El resultado es un proyecto completo capaz de caracterizar todos los aspectos y detalles esperados de un proyecto de instalaciones, preparado para la realización de las obras proyectadas para cumplir los principales objetivos.



## **Abstract**

The objective of this project is the design of all necessary systems for the implementation of an artificial irrigation system on the racing track of a circuit. In this case, the selected circuit is the Circuit de Barcelona-Catalunya, in Catalonia, Spain. The hydraulic systems, tank distribution, extension to the current drainage system and a water treatment plant are to be designed. One of the most important aspects is the recovery of as much water as possible, as well as its treatment at the plant.

In order to complete the objectives, the necessary calculations and definition without ambiguity of all relevant dimensions and drawings have been done. Moreover, additional documents are attached to the main text, including files such as a technical specifications sheet and the budget with its analysis of the return period of the investment. In addition to this, a portability study has been developed. In this study, the reader is allowed for approximating the project cost as a function of the latitude in which the system is expected to be implemented. The result is a project whose content fills all the necessary information in a master plan.



## **Agradecimientos**

Se agradece a la oficina técnica del Circuit Barcelona-Catalunya por facilitar los planos de las instalaciones del circuito.





# Índice

<b>RESUM</b>	<b>I</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>II</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>III</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>V</b>
<b>1. PREFACIO</b>	<b>1</b>
1.1. Origen del trabajo .....	1
1.2. Motivación .....	1
1.3. Requerimientos previos .....	2
<b>2. INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
2.1. Objeto.....	3
2.2. Alcance .....	3
<b>3. DESCRIPCIÓN Y DATOS GENERALES</b>	<b>5</b>
3.1. Antecedentes .....	5
3.2. Localización del proyecto.....	8
3.3. Descripción del circuito .....	9
3.3.1. Vista aérea .....	9
3.3.2. Pista .....	9
3.3.3. Exterior del trazado .....	10
3.3.4. Interior del trazado .....	12
3.4. Descripción de las instalaciones .....	13
3.4.1. Instalación de drenaje de aguas pluviales .....	13
3.5. Descripción de la zona geográfica.....	17
3.5.1. Descripción del terreno .....	17

3.5.2. Descripción del clima.....	18
<b>4. INSTALACIÓN DE RIEGO .....</b>	<b>19</b>
4.1. Generalidades .....	19
4.2. Previsión de carga de agua.....	20
4.3. Seccionamiento del circuito.....	22
4.4. Selección y distribución de aspersores .....	23
4.5. Red de distribución de agua.....	29
4.5.1. Cota .....	29
4.5.2. Estructura .....	29
4.5.3. Sectorización .....	29
4.5.4. Material .....	30
4.5.5. Otros criterios .....	30
4.5.6. Proceso de cálculo .....	32
4.5.7. Características hidráulicas por sector.....	34
4.6. Red de distribución de depuración a abastecimiento.....	35
4.7. Grupos de presión .....	38
4.7.1. Equipos de presión sector 1 .....	40
4.7.2. Equipos de presión sector 2 .....	41
4.7.3. Equipos de presión en la red de almacenamiento .....	43
4.8. Material de las tuberías .....	49
<b>5. INSTALACIÓN DE DRENAJE .....</b>	<b>51</b>
5.1. Generalidades .....	51
5.2. Superficie de recogida y estimaciones .....	52
5.2.1. Zonas pavimentadas .....	53

5.2.2. Zonas no pavimentadas.....	54
5.2.3. Resumen de rendimientos .....	54
5.3. Potencial de recolección anual .....	55
5.4. Caudal máximo .....	56
5.5. Utilización de la instalación existente.....	57
5.6. Diseño de la ampliación de la red de drenaje .....	58
5.6.1. Criterios generales de diseño .....	58
5.6.2. Trazado del conducto.....	59
5.6.3. Conductos .....	60
5.6.4. Exceso de agua .....	62
<b>6. DEPURADORA.....</b>	<b>63</b>
6.1. Generalidades.....	63
6.2. Localización .....	63
6.3. Caracterización del agua y caudal.....	64
6.3.1. Caracterización del agua .....	64
6.3.2. Caracterización del caudal.....	65
6.4. Selección de procesos.....	66
6.4.1. Eliminación de sólidos.....	66
6.4.2. Eliminación de partículas arenosas .....	66
6.4.3. Eliminación de grasas e hidrocarburos .....	67
6.4.4. Consideraciones sobre restos biológicos y orgánicos .....	67
6.5. Desbaste .....	68
6.5.1. Filtros.....	68
6.5.2. Cálculo .....	69

6.5.3. Especificaciones del canal.....	71
6.6. Desarenado y desengrasado .....	73
6.6.1. Desarenado .....	73
6.6.2. Desarenado - Desengrasado .....	74
6.6.3. Cálculo del dimensionado de la unidad de desarenado- desengrasado.....	77
6.6.4. Equipos de la unidad .....	81
6.7. Distribución en planta y recinto.....	88
6.7.1. Distribución .....	88
6.7.2. Calle y accesos.....	89
6.7.3. Recinto y superficie .....	89
<b>7. ALMACENAMIENTO .....</b>	<b>90</b>
7.1. Generalidades .....	90
7.2. Distribución de los tanques.....	91
7.3. Dimensión de los tanques .....	92
7.4. Previsión de autonomía.....	95
7.4.1. Criterios de cálculo .....	96
7.4.2. Autonomía del tanque 1 .....	96
7.4.3. Autonomía del tanque 2 .....	101
7.4.4. Autonomía del tanque principal .....	105
7.4.5. Interpretación.....	109
<b>8. PORTABILIDAD DEL PROYECTO .....</b>	<b>110</b>
8.1. Introducción .....	110
8.2. Variables.....	110
8.2.1. Longitud.....	110



8.2.2. Latitud .....	111
8.3. Càlculo .....	111
8.3.1. Criterios de càlculo.....	112
8.3.2. Proporción àrea/longitud .....	113
8.3.3. Caudal màxim .....	114
8.3.4. Instalación de riego .....	116
8.3.5. Instalación de drenaje .....	117
8.3.6. Depuradora .....	119
8.3.7. Almacenamiento .....	121
8.4. Resultados y análisis .....	122
<b>9. ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL Y CONSUMO .....</b>	<b>125</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>129</b>
<b>FICHA DE CONTRIBUCIÓN PERSONAL .....</b>	<b>130</b>
<b>PRESUPUESTO Y RENTABILIDAD .....</b>	<b>135</b>
Presupuesto.....	135
Rentabilidad.....	142
Evento de riego y relación mensual .....	142
Costes fijos.....	142
Costes variables.....	143
Ingresos .....	144
Retorno .....	144
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>149</b>
<b>ANEJO A: PLIEGO DE CONDICIONES .....</b>	<b>151</b>
A1. Criterios generales .....	151

A2. Instalación de riego .....	151
A2.1. Puesta en marcha .....	151
A2.2. Seccionamiento del circuito.....	152
A2.3. Aspersores .....	152
A2.4. Red de distribución.....	153
A2.5. Grupos de presión.....	154
A3. Ampliación de la instalación de drenaje.....	155
A3.1. Tubos .....	155
A3.2. Pendiente .....	155
A3.3. Trazado .....	156
A3.4. Arquetas.....	156
A3.5. Entrada en la depuradora y desviación.....	157
A3.6. Mantenimiento.....	158
A4. Depuradora .....	158
A4.1. Desbaste .....	158
A4.2. Desarenado y desengrasado .....	161
A4.3. Recinto .....	165
A5. Almacenamiento (depósitos) .....	167
A6. Recomendaciones de uso .....	167
A6.1. Riego .....	167
A6.2. Drenaje y obtención de agua .....	168
<b>ANEJO B: PLANOS .....</b>	<b>169</b>
<b>ANEJO C: FICHAS TÉCNICAS .....</b>	<b>170</b>
<b>ANEJO D: CÁLCULOS DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA .....</b>	<b>171</b>

D1. Variables .....	171
D2. Sector 1 .....	171
D3. Sector 2 .....	176
D4. Interconexión de tanques .....	185



# **1. Prefacio**

## **1.1. Origen del trabajo**

El proyecto se ha realizado debido a que los dos autores del mismo están cursando su último cuatrimestre del grado de ingeniería en la escuela. En un primer momento no se barajó la posibilidad de realizar el proyecto conjuntamente, aunque finalmente, se valoró la posibilidad de plantear o encontrar una idea que diese lugar a un proyecto con suficiente contenido como para trabajar dos personas en él. Se inició una lluvia de ideas por parte de los autores en las cuales las que tenían mayor peso eran el diseño o dimensionado de instalaciones o el diseño de una máquina o mecanismos. Son dos campos en los cuales los autores tienen una formación amplia debido al grado de ingeniería mecánica que han cursado. Además, se recurrió a las propuestas realizadas por profesores de la universidad y se dio con la que finalmente ha dado lugar a este proyecto.

## **1.2. Motivación**

La idea planteada de realizar un proyecto sobre el diseño de un sistema de riego artificial con depuración de agua para regar un circuito fue cautivadora desde el primer momento. Es un tipo de instalación que no está implantada en casi ningún circuito por lo que tiene su base de innovación.

Por un lado, permitía a los autores profundizar en un campo con el que ya han trabajado durante los estudios que es de la ingeniería de fluidos y así aplicar los conocimientos trabajados.

Por otro lado, resultaba un reto realizar un diseño y dimensionado de una estación depuradora teniendo en cuenta que la base teórica en relación a este tipo de instalaciones no era elevada. De esta manera, se pondría en práctica la habilidad de búsqueda eficaz de información. A partir de dicha información se debía sintetizar aquello que fuese útil y aplicable al proyecto. Por este motivo, resultaba un proyecto motivante para realizar.

### 1.3. Requerimientos previos

En primer lugar, se debía buscar un circuito para realizar el proyecto. Se optó por el circuito de Barcelona-Cataluña ya que sus dimensiones son importantes y es un circuito homologado y con reconocimiento internacional. Se contactó con la oficina técnica del circuito y se obtuvieron los planos generales del mismo.

Una vez se tuvieron los planos se pudo empezar con la ejecución del proyecto.

## **2. Introducció**

### **2.1. Objeto**

El presente proyecto tiene por objetivo definir la tipología y dimensiones de las instalaciones necesarias para implantar un sistema de riego artificial en el Circuit de Barcelona-Catalunya, maximizando la recuperación de agua y aprovechamiento de aguas pluviales. Además, se definirá una estimación de los costes necesarios para la implantación de sistemas equivalentes en otras latitudes.

### **2.2. Alcance**

Se contempla el diseño de todos los procesos necesarios desde la recogida del agua hasta su posterior lanzamiento, reutilizando instalaciones ya existentes en el circuito siempre que sea posible. De forma general, se tratarán los siguientes procesos:

- Recogida del agua lanzada y pluvial
- Depuración
- Almacenamiento
- Distribución y riego





## 3. Descripción y datos generales

### 3.1. Antecedentes

El circuito francés Paul Ricard construido en la época de los sesenta consta con una instalación de características similares.

En 2001 se construyó una instalación de riego artificial con aspersores repartidos a lo largo de los 3.813 kilómetros del circuito.

El trazado se ha utilizado para numerosas pruebas de test de neumáticos en los últimos años. Los fabricantes de los neumáticos han sido los más interesados para probar en diferentes condiciones y así confeccionar de manera óptima su producto. Las condiciones de prueba realizadas son con simulación de seco, lluvia ligera y lluvia fuerte.

Los sistemas empleados actualmente son poco eficientes y lleva una gran cantidad de tiempo mojar los circuitos. Generalmente se trata de camiones cisterna que riegan el circuito a su paso por el mismo.

El desarrollo de este tipo de instalaciones en circuitos tiene la intención de ser una fuerte inversión para que en el futuro puedan extrapolarse los neumáticos testeados al mercado convencional.



**Imagen 3.1** - Aspersores mojando la pista en el circuito Paul Ricard. Fuente: Sky Sports.



**Imagen 3.2** - Vehículo circulando por la pista mojada mediante sistema de riego artificial en el circuito Paul Ricard. Fuente: Pirelli.



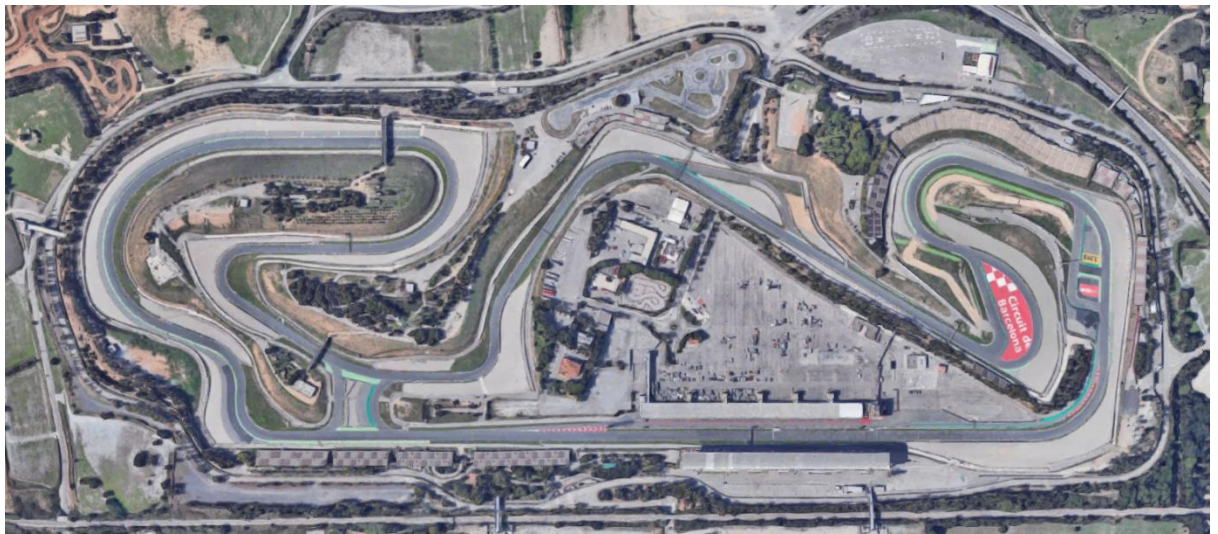
**Imagen 3.3** - Camión cisterna regando un circuito. Fuente: Sky Sports.



### 3.3. Descripción del circuito

#### 3.3.1. Vista aérea

En primer lugar, se adjunta una vista de satélite del circuito para mejor comprensión de los posteriores apartados.



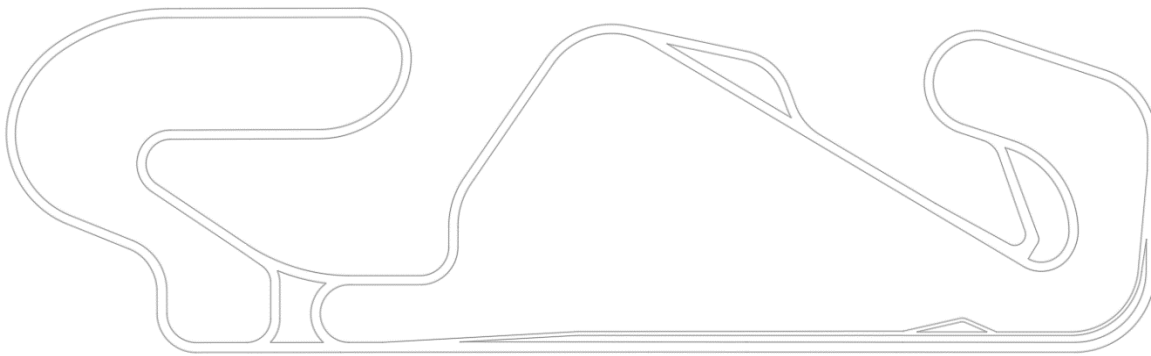
**Imagen 3.5** - Vista aérea del circuito. Fuente: Google Maps.

#### 3.3.2. Pista

El circuito de Barcelona-Catalunya cuenta con aproximadamente 4.650 metros de trazado, con un margen variable según se adopte la configuración de Fórmula 1 o de Moto GP. El ancho medio de la pista es de 11 metros.

El trazado puede contener 14 o 15 curvas, dependiendo de las configuraciones mencionadas anteriormente. A continuación, se muestra el trazado para 14 curvas.





**Imagen 3.6** - Trazado del circuito con configuración de 14 curvas.

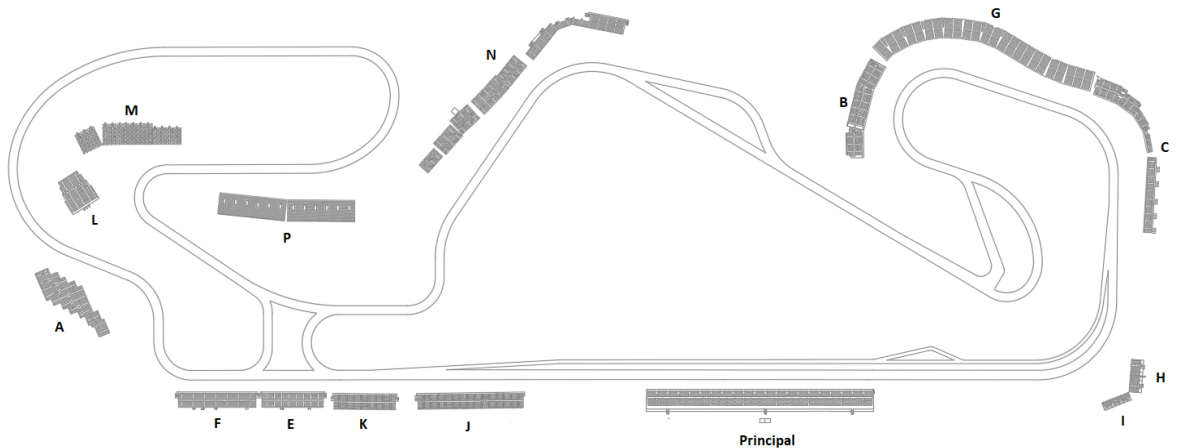
Además, el circuito se puede seccionar en dos partes. Esto se consigue gracias a la unión entre la recta principal (zona inferior) y el trazado que retorna del ala izquierda del circuito, permitiendo utilizar tan sólo dicho ala, el resto del circuito a excepción de éste, o bien la totalidad del trazado.

### 3.3.3. Exterior del trazado

En las afueras del recinto delimitado por la pista se encuentran diferentes estructuras, principalmente parte de las gradas de espectadores y parkings, así como rutas de acceso. Parte del exterior sin asfaltar se emplea también como parking, y distintos accesos comunican el interior del circuito con estas parcelas.

Tomando como base la vista aérea expuesta con anterioridad, se describen:

En la **zona inferior**, contigua a la recta principal, se sitúan las gradas (o tribunas) F, E, K, J, V y la denominada principal. Las gradas se distribuyen y nombran a lo largo del circuito según el siguiente esquema (algunas gradas pueden no coincidir con la vista aérea en caso que se desensamblen durante periodos del año no coincidentes con la toma de la imagen):



**Imagen 3.7** - Distribución y nombre de las gradas para espectadores.

En la zona inferior a las gradas se encuentran la mayoría de parcelas destinadas al estacionamiento de vehículos, pero que no han sido asfaltadas.

En la **zona izquierda**, adjunta al ala izquierda (seccionable) del circuito, tan sólo se encuentran las gradas A y las escapatorias de las distintas curvas que componen este segmento.

En la **zona central** delimitada por el ala izquierda del trazado y el cuerpo principal del trazado (justo sobre la unión que permite el seccionamiento del circuito) se encuentran las gradas P, un edificio bar y uno de lavabos.

En la **zona superior** se encuentran las gradas N, y contiguo a ellas un edificio bar y uno de lavabos. También contiguo a las gradas se encuentra el circuito de la escuela RACC-Renault, aislado del trazado principal. Desplazándose hacia la derecha (en base a la vista aérea), encontramos otro acceso al interior del circuito, y un helipuerto contiguo a éste.

En la **zona derecha**, y de forma contigua al exterior del ala derecha del trazado, se encuentran las gradas B, G y C, así como un edificio bar y dos de lavabos.

En la **zona inferior derecha**, antes de la recta principal, se encuentran las gradas I y H, así como otro de los accesos al circuito.

### 3.3.4. Interior del trazado

En el área interior delimitada por el trazado del circuito se encuentran la mayoría de edificios de oficinas y control del circuito, el *Paddock* y otras estructuras.

En el **brazo del ala izquierda** se encuentra un edificio bar, uno de lavabos, un puente de acceso que cruza la pista, y las gradas M y L. En la punta del brazo se halla una zona picnic.

La **zona inferior izquierda**, al final de la recta principal, está ocupada por otra zona de picnic y un edificio exclusivo para socios del circuito.

El **núcleo central** de la zona interior, en su grupo de edificios izquierdo, contiene los principales edificios de oficinas y servicios, con pequeños parkings adjuntos. Por otro lado, en la zona derecha, se encuentra el *Paddock* (con su edificio de lavabos), y el edificio de *boxes* que se extiende a lo largo de gran parte de la recta principal. Adjunto a éste se encuentra el edificio de control de carreras, y desplazándose hacia la derecha se encuentran dos edificios dedicados a los Mossos d'Esquadra y servicios médicos.

El interior del **ala derecha** contiene únicamente accesos a la pista y escapatorias.



### **3.4. Descripción de las instalaciones**

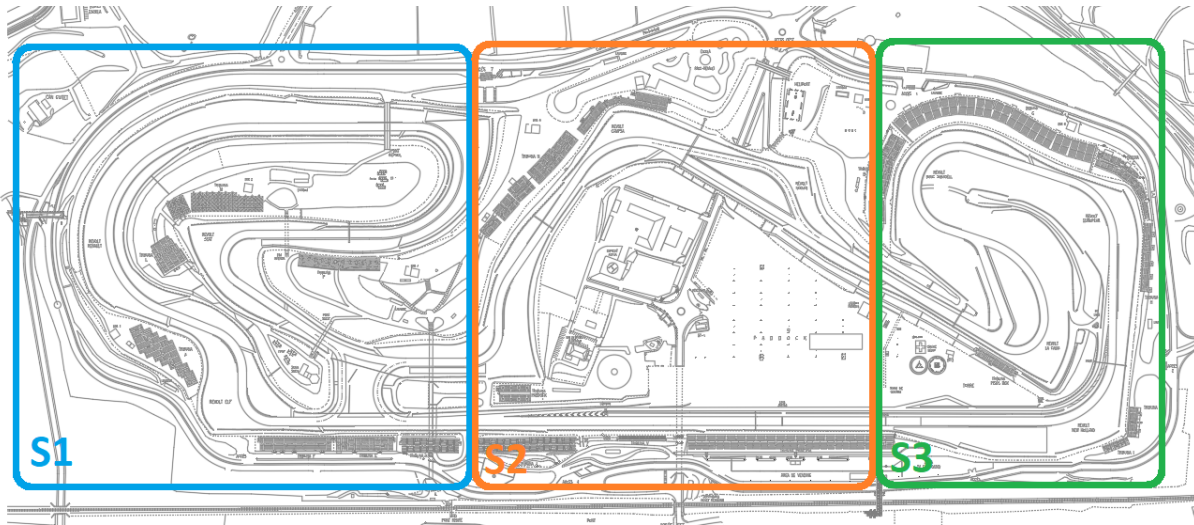
El circuito, entendido como el recinto en que se desarrolla todo el conjunto de actividades, está provisto de extensas instalaciones de baja tensión, telecomunicaciones, agua y drenaje de aguas pluviales. Cada edificio individual está también provisto de las instalaciones necesarias para su funcionamiento, conectadas con las redes del circuito.

La principal instalación que interactúa con el presente proyecto es la de drenaje de aguas pluviales. En menor medida, toman parte las instalaciones de baja tensión para la conexión de equipos y la de telecomunicaciones, si se desea en el futuro instalar un completo sistema de control y automatización.

#### **3.4.1. Instalación de drenaje de aguas pluviales**

La instalación de drenaje de aguas pluviales ya existente se divide en tres sectores de drenaje. El primer sector drena el brazo izquierdo del circuito, el segundo drena el núcleo central (incluyendo la extensa superficie del *Paddock*) y el tercero el brazo derecho del circuito.

Estos sectores se han representado, de forma general, en la siguiente imagen:



**Imagen 3.8** - Distribución de los sectores de drenaje en la instalación existente.

#### 3.4.1.1. Drenaje de la pista e inmediaciones

La pista y sus inmediaciones cuentan con varios canales y drenajes de agua.

Un **canal con drenaje poroso** circula contiguo a cada uno de los laterales de la pista durante toda la longitud del circuito, y es el principal sistema de drenaje para la superficie de asfalto del trazado. En algunas escapatorias de gran superficie se han instalado una o más líneas de drenaje con drenajes porosos adicionales.

Por otro lado, una **cuneta** recorre el exterior de las escapatorias e inmediaciones de la pista, y es el principal sistema de drenaje de las zonas arenosas y no asfaltadas contiguas a la pista. Se alterna el uso de cunetas abiertas y ocultas, según sea necesario en cada tramo.

El agua drenada por estos dos sistemas es transmitida a un canal colector (en algunos tramos visible con drenaje superior adicional, y en otros tramos oculto) que circula entre los drenajes porosos y las cunetas exteriores. Estos canales colectores

transmiten el agua drenada a los colectores principales de cada sector, que circulan enterrados durante todo su recorrido.

#### **3.4.1.2. Drenaje del *Paddock***

El *Paddock* es un área asfaltada de gran superficie, y el principal contribuyente a la cantidad de agua drenada en el Sector 2 (según la imagen previamente mostrada).

El drenaje de esta zona se lleva a cabo mediante pozos superficiales con drenaje superior (con tapa de rejillas). Los distintos pozos, repartidos por toda la superficie del *Paddock*, están comunicados con colectores ocultos y enterrados, encargados de transportar el agua drenada por toda la red de colectores hasta terminar en el principal colector del Sector 2.

#### **3.4.1.3. Otras zonas con instalación de drenaje**

La instalación de drenaje se centra en la evacuación del agua de la pista, inmediaciones y el *Paddock*. Sin embargo, hay otros puntos en los que existe una instalación menor de drenaje.

**Tribuna principal:** cuenta con canales que recolectan el agua de lluvia y la transportan a una depuradora próxima, es un sistema totalmente aislado del resto de drenaje del circuito.

**Camino perimetral:** en distintos puntos del camino perimetral que rodea el circuito hay instalados canales con drenaje superior para evitar inundaciones en áreas donde el desnivel las promueve. Estos canales se comunican posteriormente con el colector principal del sector donde se encuentren.

**Calle principal:** la calle que cruza el circuito desde el acceso oeste hasta el acceso este (y contigua al paddock) cuenta con canales de drenaje en sus laterales. Forman parte del Sector 2.

#### 3.4.1.4. Colectores principales de drenaje y resumen de sectores

Los colectores principales de drenaje recogen toda el agua drenada de su respectivo sector y la transportan a su punto de evacuación final del circuito.

En base a la vista aérea previamente mostrada, la evacuación final de todos los sectores se ubica en la parte inferior, cerca de la vía de tren, donde el agua abandona el circuito.

El reparto de carga de drenaje entre los distintos sectores no es equitativo, y unos sectores recogen más agua que otros. Por ello, los conductos de evacuación son diferentes en todos los casos, y no siempre se cuenta con el mismo número de ellos.

Se adjunta una tabla resumen de superficies y conductos principales:

Sector	$A_t$ (m <sup>2</sup> )	$A_{asf}$ (m <sup>2</sup> )	% <sub>asf</sub>	$D_{colector}$ (mm)
1	141.759	27.764	19,59	2x 150 / 1x 120
2	77.477	66.106	85,32	2x 1000
3	82.755	21.373	25,83	1x 150

**Tabla 3.1** – Tabla resumen de superficies y colectores por sector.

Donde:

- $A_t$ : área total de recolección.
- $A_{asf}$ : área total de recolección asfaltada o pavimentada

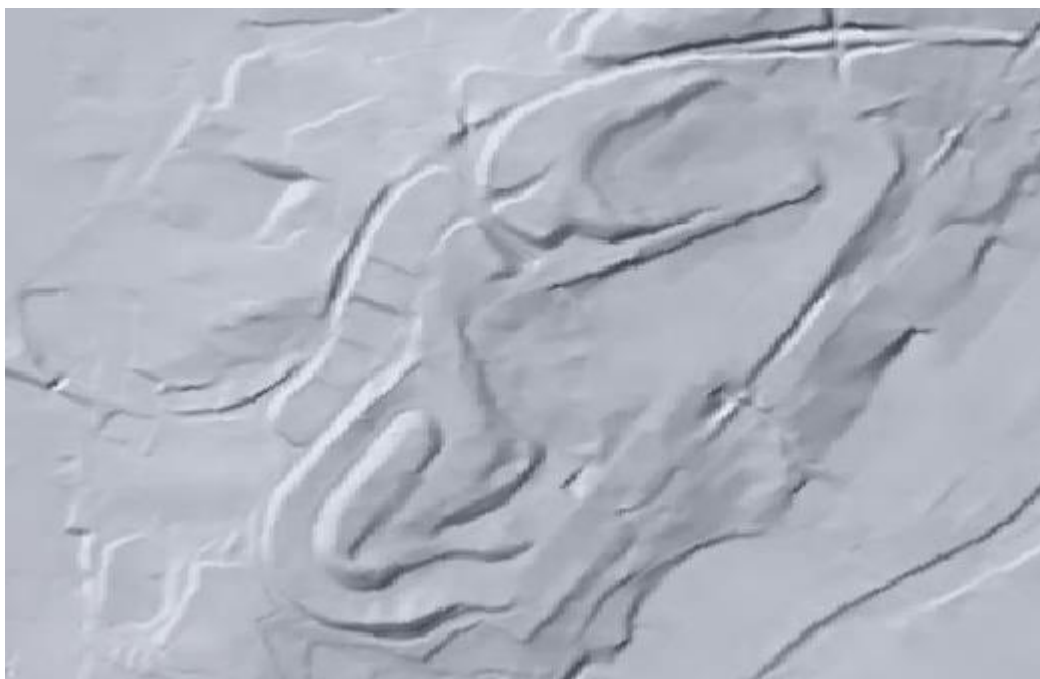
- $\%_{\text{asf}}$ : proporció de àrea asfaltada respecte total
- $D_{\text{colector}}$ : diàmetre del col·lector principal

### 3.5. Descripción de la zona geográfica

#### 3.5.1. Descripción del terreno

El Circuit de Barcelona-Catalunya se encuentra a una elevación de aproximadamente 100 metros sobre el nivel del mar.

A continuación, se adjunta una imagen mostrando el relieve del terreno:



**Imagen 3.9** - Relieve del terreno. Fuente: Sede Electrónica del Catastro, visor IDEE.

Los principales componentes del suelo son conglomerados, gravas, arenas, areniscas, limos y arcillas.

### 3.5.2. Descripción del clima

Según datos de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), para el periodo comprendido entre mayo de 2013 y abril de 2018, en la estación meteorológica más próxima al circuito, se obtiene la siguiente información.

Parámetro		Valor
Precipitaciones	Acumulación máxima diaria	65,8 L/m <sup>2</sup>
	Acumulación media anual	361,94 L/m <sup>2</sup>
Temperatura	Máxima	33,4 °C
	Mínima	0,1 °C

**Tabla 3.2** - Información meteorológica para la estación más próxima.

## 4. Instalación de riego

### 4.1. Generalidades

La instalación de riego se diseña para mojar la superficie del circuito con el fin de simular condiciones de lluvia sobre el mismo. Esta práctica se realiza para poder ejecutar pruebas de neumáticos y así determinar el diseño óptimo de estos.

Es un tipo de instalación que no está generalizada en los circuitos. Por ejemplo, el único que circuito que dispone de una obra de ingeniería como la que se proyecta es el ubicado en la localidad de Paul Ricard, Francia. Por este motivo, los proveedores de neumáticos piden a los diferentes equipos de vehículos a los que suministran realizar pruebas en ese circuito. Por lo tanto, la utilidad de un sistema de riego queda confirmada ya que tener la posibilidad de generar las condiciones climáticas de lluvia en cualquier momento acelera todo el proceso de diseño y fabricación de los neumáticos. Además, sirve de banco de pruebas para los equipos ya que también aprovechan esta información para determinar el tipo de rodaje en esas condiciones.

Primeramente, se hace necesario conocer cuál es la previsión de carga de agua que se espera según las condiciones en las que se quiera operar. Para determinar este aspecto se realiza un estudio sencillo del cual se darán detalles posteriormente. A partir de la previsión de agua se decide optar por la aspersión como método de riego ya que se resulta eficaz a la hora de mojar toda la superficie del circuito. En función de la capacidad de carga de los aspersores seleccionados y aspectos como son la geometría del recinto, entre otros, se seleccionan tuberías, grupos de presión y otros equipos que se especifican en apartados posteriores.

En resumen, la instalación de riego es un pilar del proyecto ya que es la encargada de cumplir la función principal por la que se concibe esta instalación.

## 4.2. Previsión de carga de agua

La lluvia no es un fenómeno meteorológico que se presente de manera constante a lo largo del tiempo. Como la gran mayoría, presenta diferentes tipologías que se basan mayoritariamente en la intensidad de agua que cae en un espacio y momento determinado. Lo que es lo mismo a expresarlo en caudal por metro cuadrado. Se ha recurrido a un estudio realizado por el Instituto Nacional de Meteorología el cual define la intensidad de lluvia según un criterio de acumulación en una hora. Se especifica en la siguiente tabla:

<b>Intensidad de lluvia</b>	<b>Acumulación en 1 hora</b>
Débil	menos de 2 mm
Moderada	entre 2.1 y 15 mm
Fuerte	entre 15.1 y 30 mm
Muy Fuerte	entre 30.1 y 60 mm
Torrencial	más de 60 mm

**Tabla 4.1** – Clasificación de intensidades de lluvia en milímetros por hora.

Cabe comentar que la acumulación está expresada en mm/hora. Los pluviómetros que son los dispositivos encargados de realizar dicha lectura la representan utilizando unidades de longitud. 1 mm/h equivale a 1 l/m<sup>2</sup>·h. Por lo que la tabla quedaría expresada de la siguiente manera:



Intensidad de lluvia	Acumulación en 1 hora
Débil	menos de 2 L/m <sup>2</sup>
Moderada	entre 2.1 y 15 L/m <sup>2</sup>
Fuerte	entre 15.1 y 30 L/m <sup>2</sup>
Muy Fuerte	entre 30.1 y 60 L/m <sup>2</sup>
Torrencial	más de 60 L/m <sup>2</sup>

**Tabla 4.2** – Clasificación de intensidades de lluvia en L/m<sup>2</sup> por hora.

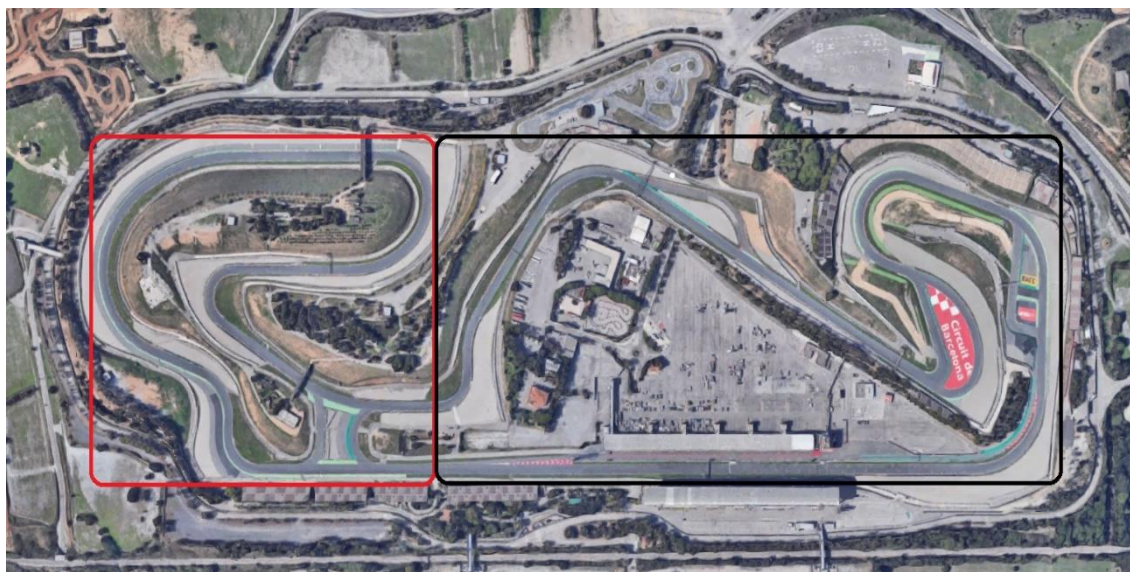
Las posibilidades que nos ofrece el estudio son amplias ya que acotan bien la tipología de lluvia y cómo clasificarla. El paso siguiente es escoger los valores útiles para el proyecto y descartar aquellos que no son viables.

La decisión es abordar el proyecto tomando como intensidad de lluvia las tipologías moderada y fuerte. Se descarta la intensidad de lluvia débil porque en esas condiciones no se va a extraer información de gran utilidad para el uso de neumáticos ya que se utilizarían los de condiciones de seco. Además, a partir de lluvia fuerte, que incluye obviamente torrencial, se considera que son condiciones demasiado extremas y peligrosas para rodar. En una hipotética competición o prueba con lluvia se optaría no rodar con esa cantidad de agua ya que se podría poner en peligro la condición física de los pilotos por la peligrosidad del trazado. Además de que es elevadamente complicado conseguir neumáticos que sean capaces de evacuar cantidades de caudal tan elevadas.

Debido a los motivos mencionados, se opta por un rango de trabajo que va desde los 5 l/m<sup>2</sup> hasta los 20 l/m<sup>2</sup>. La instalación está dimensionada para poder trabajar con total éxito entre dicho rango teniendo en cuenta que mayoritariamente el factor limitante es el valor máximo.

### 4.3. Seccionamiento del circuito

El circuito es un recinto de unas dimensiones superficiales considerables. En este caso, la decisión tomada es seccionar el recinto en dos. Cada parte estará alimentada por depósito, grupo de presión, red de tuberías y aspersores independientes. Con lo cual, si se quiere trabajar solo en una de las partes del circuito se puede realizar sin inconveniente. La división se efectúa de la siguiente manera:



**Imagen 4.1** - Vista aérea del circuito con la distribución de sectores.

Tal y como se puede observar las dimensiones del sector 1 encuadrado en el cuadro rojo son menores que las del sector 2 encuadrado en el cuadro negro. De todas formas, como primera división del circuito se considera adecuada ya que logra cumplir con el principal criterio de sectorización. El criterio principal es que las tuberías de la red de riego no deban atravesar tramos de pista ya que eso elevaría los costes de obra y mantenimiento al tener que romper y penetrar el asfalto cada vez que se necesite efectuar algún tipo de trabajo en las tuberías.

Debido a consideraciones geométricas y de diseño de la disposición de los aspersores que se documentan más adelante, el sector 1 está alimentado por 80 aspersores y el sector 2 por 180 aspersores. El sector 2 es el que posee mayor carga

por lo que podría actuar perfectamente como circuito independiente ya que sus dimensiones son bastante representativas. Por otro lado, el sector 1 está como auxiliar del 1 aunque también podría trabajar independientemente.

En dos tramos cortos de cada sector se ubican tres aspersores adicionales en cada uno para que se utilicen en caso de solo usar uno de los sectores del circuito o los a la vez por separado.

#### 4.4. Selección y distribución de aspersores

Los métodos de riego existentes son diversos y se ha escogido la aspersión. Se trata de unos equipos que ocupan un espacio pequeño y pueden ocultarse bajo el suelo cuando no están en régimen de trabajo. Además, la mayoría de fabricantes los diseñan con la posibilidad de rotación y alcance variable para poder optimizar la función de riego.

Los aspersores se han considerado como punto de partida de diseño a la hora de dimensionar la instalación. Cada aspersor limita la carga de agua que puede suministrar, por lo tanto, es lógico empezar a dimensionar el resto de la instalación según la distribución de los aspersores a lo largo del circuito.

El primer paso para la selección de los aspersores es una búsqueda para saber lo que ofrece el mercado. Después de indagar la tipología de equipos que aportan diferentes fabricantes se ha verificado que la empresa *Hunter* es la que ofrece mejor fiabilidad y aporta una gran versatilidad para escoger el producto.

La selección de aspersores debe tener en cuenta los siguientes factores:

- El ancho de la pista y sus exteriores.
- El alcance que los propios aspersores puedan proporcionar y su variabilidad.

- La capacidad de giro de la que dispongan los aspersores.
- Distancia de seguridad a la que deben colocarse los aspersores de la pista.

A partir de los planos del circuito se determina que la anchura máxima de la pista es de 12 metros. Los aspersores se instalarán en el costado interno de la pista a una distancia de 2 metros en perpendicular a la tangente del trazado en ese punto. Además, deben ser capaces de mojar hasta 3 metros más allá del trazado en el otro costado para generar situaciones lo más cercanas a la realidad. Por lo tanto, el alcance del aspersor debe ser de al menos 17 metros.

La previsión de carga estimada en la que debe trabajar la instalación determinada en el apartado anterior es otro factor que marca las características que deben tener los aspersores. A criterio de diseño se dimensiona la instalación para que pueda trabajar en condiciones máximas de trabajo. Las condiciones máximas de trabajo establecidas son de 20 l/m<sup>2</sup>·h de carga. El paso a seguir es establecer cuál es el caudal necesario para reproducir esas condiciones en el trazado. Los parámetros que entran en juego en este cálculo son los siguientes:

Parámetro	Valor
Longitud del circuito	4660 metros
Alcance	17 metros
Superficie del circuito a mojar	79220 metros
Pluviometría	20 L/m <sup>2</sup>
Tiempo	1 hora (3600 segundos)
Caudal	484,12 L/s

**Tabla 4.3** – Variables de cálculo de aspersores.

El proceso de cálculo es el siguiente:

$$\text{Superficie} = \text{Longitud} \cdot \text{Alcance} = 4660 \cdot 17 = 79.220 \text{ m}^2 \quad (4.1)$$

$$\text{Caudal} = \frac{\text{Pluviometría} \cdot \text{Superficie}}{\text{Tiempo}} = \frac{20 \cdot 79.220}{3600} = 484,12 \text{ L/s} \quad (4.2)$$

Este valor calculado es el caudal necesario para generar las condiciones máximas de la instalación, por lo que todo el diseño debe ser capaz de cumplir la demanda.

Los procesos de selección y distribución de aspersores van interrelacionados ya que ambos son determinantes en la selección idónea de los dispositivos. Esta afirmación produce que el paso siguiente sea calcular el número total de aspersores que estarán distribuidos por el circuito. El método más directo es la distribución de los aspersores de manera equidistante a lo largo de toda la longitud del trazado. Se usan los planos base del circuito y junto con una herramienta de CAD se determina la siguiente distribución:

Parámetro	Valor
Nº de aspersores	260
Distancia entre aspersores	17,7 metros

**Tabla 4.4** – Configuración de aspersores.

Una vez se establece la distribución de los equipos de riego se procede a determinar otras especificaciones de carácter técnico que influyen en la instalación.

Se conoce el caudal máximo que necesita suministrar la instalación, por lo tanto, la cantidad total de aspersores tiene que ser capaz de soportar dicha carga. Una vez se especifique cual es la carga requerida por unidad, se debe hacer la correlación con los equipos que hay en el mercado para validar la elección. Los parámetros que intervienen en juego en este apartado son los siguientes:

Parámetro	Valor
Caudal	484,12 L/s
Nº de aspersores	260
Caudal requerido / unidad de aspersor	1,862 L/s
Caudal requerido / unidad de aspersor	111,72 L/min

**Tabla 4.5** – Parámetros que intervienen en la selección de aspersores.

De forma evidente, el caudal requerido por unidad de aspersor se determina de la siguiente manera:

$$\text{Caudal}_{\text{aspersor}} = \frac{\text{Caudal}}{\text{Nº de aspersores}} = \frac{484,12}{260} = 1,862 \text{ L/s} \quad (4.3)$$

El paso siguiente para recopilar las exigencias necesarias que deben cumplir los aspersores es determinar con qué sectorización han de trabajar. Se trata de un ejercicio claro de trigonometría. En este cálculo intervienen los siguientes condicionantes:

Parámetro	Valor
Distancia de aspersores a la pista (A)	2 metros
Intersección de chorros respecto a la pista (B)	1 metro
Distancia entre aspersores (C)	17,7 metros
Ángulo de salida respecto horizontal (D)	5º
Ángulo de sectorización (E)	170º

**Tabla 4.6** – Parámetros geométricos de la distribución de aspersores.

Un criterio de diseño es que los chorros de dos aspersores consecutivos intersectan justo en el punto medio de la distancia que existe perpendicularmente entre ellos y la pista, es decir, 1 metro de distancia. Teniendo en cuenta, además, que esa intersección también debe darse en el punto medio de la distancia entre aspersores consecutivos. Por lo tanto, el cálculo es el siguiente:

$$\tan(D) = \frac{B}{C} = \frac{1}{\frac{17,7}{2}} = 6,45^\circ \quad (4.4)$$

Sin embargo, a criterio de aplicar un factor de seguridad se decide aplicar  $5^\circ$ .

$$E = 180^\circ - 2D = 180^\circ - 2 \cdot 5^\circ = 170^\circ \quad (4.5)$$

En conclusión, los aspersores deben ser capaces de poder abarcar al menos una sectorización de  $170^\circ$ .

Los requisitos que se exigen a la hora de la selección de los aspersores son los siguientes:

Parámetro	Valor
Alcance	17 metros
Caudal	111,72 L/min
Ángulo de sectorización	$170^\circ$

**Tabla 4.7** – Requisitos a cumplir por los aspersores.

A partir de estas tres variables se realiza una búsqueda para encontrar los equipos de riego adecuados que cumplan las exigencias. Como se explicó anteriormente, se elige como suministrador la empresa *Hunter* por su prestigio y fiabilidad, aunque esto no quiere decir que en la instalación no se pueda colocar otra marca siempre y cuando ofrezca las prestaciones que se demandan.

La gama de aspersores *Hunter* es muy extensa ya que sirven productos para diversas aplicaciones y servicios. Aun así, por sus prestaciones y por sus dimensiones se escoge el modelo I-25. A continuación se resumirá en una tabla sus características más destacadas:

Parámetro	Valor
Alcance	11,9 - 21,6 metros
Caudal	13,6 - 120,7 L/min
Ángulo de sectorización	50° - 360°
Altura total	26 cm
Diámetro expuesto	5 cm
Conexión	1" BSP

**Tabla 4.8** – Características técnicas principales del aspersor modelo I-25 de Hunter.

El equipo cumple con las especificaciones demandadas en relación a alcance, caudal y sectorización. Además, su geometría es bastante discreta con lo que también cumple la exigencia de ser lo más ligero y cómodo posible por cuestiones de operatividad, seguridad y estética. Otro criterio a tener en cuenta es que en algunos puntos del circuito la sectorización debe ser completa, 360°, y este equipo también cumple esa expectativa. La rosca es del tipo europeo que siempre facilita más la instalación ya que el circuito se encuentra en territorio europeo. En los anejos se aporta ficha técnica para verificar al completo todas las características de los equipos de aspersión seleccionados.

En cada tramo de tubería de 32 milímetros antes de cada aspersor debe instalarse un reductor de presión que trabaje en un rango de 16 bares a 3 bares. El objetivo es asegurar que la presión de trabajo de los aspersores sea de 5 bares aproximadamente.



## **4.5. Red de distribución de agua**

La red de distribución es la encargada de trasladar el agua desde los depósitos hasta los aspersores, pasando por los grupos de presión. El diseño de dicha instalación en términos geométricos y de distribución del espacio está limitado por las dimensiones del recinto. Por lo tanto, siempre que se encuentre dentro del recinto y no interfiera con otra instalación existente, la red de tuberías puede distribuirse libremente.

Los criterios de diseño principales se especifican en los siguientes sub-apartados.

### **4.5.1. Cota**

La primera decisión es que las tuberías irán enterradas en una cota de 3 metros por debajo del suelo en cada punto. El porqué de esta decisión es mantener la seguridad y protección de la red de tuberías ya que por encima del suelo pasan coches o maquinaria pesada. Además, cuanto más aislada se encuentre la red de lo que es la zona de trabajo del recinto, menos se notará su existencia y por lo tanto habrá una probabilidad menor a que se produzcan incidencias.

### **4.5.2. Estructura**

La segunda decisión de trascendencia es la manera en la que se va repartir el diseño. En este caso se establece una estructura ramificada que se va agrandando a lo largo que avanza la red desde los depósitos hasta los aspersores. En los tramos iniciales los diámetros son mayores porque el caudal que fluye es mayor, y cada cierta distancia estos se van reduciendo ya que la red va dividiéndose buscando su salida.

### **4.5.3. Sectorización**

Otro criterio que ya fue comentado anteriormente es la sectorización del circuito. Existen dos partes diferenciadas en las que cada una contará con sus propios

equipos. Por lo tanto, se puede desarrollar el proceso de diseño en paralelo ya que las dos son independientes.

#### **4.5.4. Material**

El material de las tuberías es un factor también determinante para el diseño. El material seleccionado es el acero y en apartados posteriores se detalla el motivo.

#### **4.5.5. Otros criterios**

A continuación, se detalla otra serie de criterios para realizar el proceso de cálculo con el fin de determinar los diferentes parámetros de la instalación.

El objetivo de la red de tuberías es realizar el traslado del fluido generando la menor pérdida de carga posible para que los equipos de presión seleccionados sean capaces de vencer la resistencia con el menor coste energético posible.

La distribución ramificada de la red provoca que el punto más desfavorable de la instalación sea el que indique cual es la pérdida de carga total que necesita vencer la instalación. El punto más desfavorable es aquel en el cual la suma de factores como son la distancia y la altura sea lo más desfavorable posible. Contando además con la pérdida que generan los accesorios con los cambios bruscos de sentido entre otros aspectos a lo largo de los tramos.

Los depósitos en cada uno de los dos sectores están enterrados bajo el suelo por el mismo criterio que las tuberías. De esta forma se ahorra volumen y hay menos posibilidades de que se produzcan incidencias.

Los equipos de presión se sitúan a la salida de los depósitos para aportar la energía necesaria y trasladar el agua a los aspersores. De la misma forma que los depósitos irán enterrados. En apartados posteriores se entra en detalle respecto a las características de estos equipos.

Es destacable que la cota física a vencer es de 20 metros, sin embargo, las distancias a vencer están por encima de los 170 metros y con continuos cambios de dirección y accesorios que generan pérdidas de carga adicionales. Esto indica que los equipos de presión gastan un alto porcentaje de su trabajo en vencer dicha carga.

La rugosidad del material es determinante a la hora de provocar pérdidas de carga menores o mayores, por lo que no se trata de un parámetro desdeñable en el cálculo.

La presión de partida es la propia de los depósitos, sin embargo, la tratarse de descarga libre la presión de salida es atmosférica.

El caudal máximo que debe suministrar la instalación es la suma de los caudales que demandan los puntos de servicio, en este caso los aspersores.

La velocidad oscila entre 1 m/s y 3 m/s en todos los tramos debido a que es una recomendación que se realiza en este tipo de instalaciones para que las pérdidas de carga no sean excesivas y no se generen grandes turbulencias.

El diámetro óptimo para cada tramo se obtiene en una hoja de cálculo que se basa en las ecuaciones detalladas en el siguiente apartado. El ábaco relaciona el caudal, la sección, la velocidad y pérdidas de carga con lo que permite calcular las pérdidas de carga en cada tramo.

Además de calcular las pérdidas de carga generadas por el rozamiento con las paredes internas de las tuberías a lo largo de toda su longitud, se deben determinar las pérdidas de carga generadas por los elementos distorsionadores. Hay varios criterios a la hora de calcular dichas pérdidas.

Por un lado, es posible estimar las pérdidas de carga localizadas en un 20% de las producidas sobre la longitud real del tramo. Este método permite ahorrar trabajo y tiempo ya que el cálculo es laborioso y ofrece una solución muy cercana a la real. Sin

embargo, debido al rol que juega esta instalación en el proyecto se opta por no usar esta solución ya que se busca la precisión.

Por otro lado, las pérdidas de carga se pueden calcular aplicando los coeficientes de pérdida que posee cada tipología de accesorio. En cada tramo se considera el coeficiente de cada accesorio que se encuentra en él mismo y se añade la sumatoria de coeficientes a la expresión que determina las pérdidas de carga por fricción y de esta manera se calcula la pérdida de carga total.

Finalmente se hace necesario comprobar que la presión disponible en el punto más desfavorable supera los valores mínimos y que en todos los puntos de consumo no se supera el valor máximo, después de descontar la presión total, la cota física y las pérdidas de presión total del tramo más desfavorable.

El dimensionado de la instalación se realiza teniendo en cuenta las peculiaridades de cada tramo y del terreno. Además, los diámetros obtenidos serán los óptimos que cumplan con las especificaciones y criterios exigidos, pero a su vez sean lo más económicos posible.

#### 4.5.6. Proceso de cálculo

Para determinar la altura manométrica entre el depósito y el aspersor que se encuentra entre el punto más desfavorable se aplica la ecuación general de Bernoulli con máquina generadora en términos de altura.

$$\frac{p_1}{g} + z_1 + \frac{c_1^2}{2g} + h_{\text{bomba}} = \frac{p_{\text{atm}}}{g} + z_2 + \frac{c_2^2}{2g} + h_{\text{pérdidas}} \quad (4.6)$$

Los términos de velocidad son nulos. Son conocidos los valores de las presiones. El término que queda por calcular es el incremento de pérdidas  $\Delta h$ . Se calcula aplicando

la siguiente expresión para cada tramo teniendo en cuenta las pérdidas que generan los diferentes elementos distorsionadores como válvulas, etc.

$$h_{\text{pérdidas}} = \left( f \cdot \frac{L}{D} + \sum K \right) \cdot \frac{c^2}{2g} \quad (4.7)$$

El término  $\sum K$  tiene en cuenta las pérdidas de los elementos del sistema.

El factor de fricción  $f$  se determina mediante la expresión de Halaand que soluciona la ecuación de Coolebrook-White con una buena aproximación. Es la siguiente:

$$f = \left( \frac{1}{-1,8 \log \left( \left( \frac{\epsilon/D}{3,7} \right)^{1,1} + \frac{6,9}{Re} \right)} \right)^2 \quad (4.8)$$

Para cada tramo se calcula el factor de fricción utilizando los datos de rugosidad y diámetro. El número de Reynolds se calcula a partir de la velocidad, y esta a su vez se calcula a través del caudal de demanda que debe circular por la instalación.

$$Q = c \cdot A \rightarrow c = \frac{Q}{A} \quad (4.9)$$

$$Re = \frac{\rho c D}{\mu} \quad (4.10)$$

Las velocidades en las tuberías por lo general se deben encontrar en un rango entre 1 y 3 m/s.

## 4.5.7. Características hidráulicas por sector

### 4.5.7.1. Sector 1

El sector 1 está ubicado en la parte occidental del circuito si se observa el mismo desde un plano cenital. Junto al sector 2 forma el trazado completo del circuito. El diseño de la instalación permite que tenga un funcionamiento independiente, aunque por norma general se va a emplear junto al otro sector.

Los parámetros que componen el sector 1 son los siguientes:

Parámetro	Valor
Nº de aspersores	80
Caudal total a suministrar	149,6 L/s
Caudal suministrado por aspersor	1,87 L/s
Longitud de tuberías	3090 metros
Accesorios varios	150 unidades
Pérdida de carga del punto crítico	172,72 metros de columna de agua

**Tabla 4.9** – Características hidráulicas del sector 1.

El sector 1 cuenta con un grupo de presión, un depósito acumulador y diferentes elementos que sirven para la instalación adecuada de las tuberías enterradas. Estos elementos serán explicados en apartados posteriores.

### 4.5.7.2. Sector 2

El sector 2 está ubicado en la parte oriental del circuito si se observa el mismo desde un plano cenital. Junto al sector 1 forma el trazado completo del circuito. El diseño de

la instal·lació permet que tinga un funcionament independent, aunque por norma general se va a emplear junto al otro sector. En cualquier caso, tiene las dimensiones necesarias para poder llevar a cabo pruebas sin la necesidad de emplear el otro sector. La decisión se debe tomar según el tipo test que se requiera y las especificaciones del mismo.

Los parámetros que componen el sector 2 son los siguientes:

Parámetro	Valor
Nº de aspersores	180
Caudal total a suministrar	336,6 L/s
Caudal suministrado por aspersor	1,87 L/s
Longitud de tuberías	4540 metros
Accesorios varios	250 unidades
Pérdida de carga del punto crítico	422,6 metros de columna de agua

**Tabla 4.10** – Características hidráulicas del sector 2.

De forma análoga al sector 1, el sector 2 cuenta con un grupo de presión, un depósito acumulador y diferentes elementos que sirven para la instalación adecuada de las tuberías enterradas. Estos elementos serán explicados en apartados posteriores.

## 4.6. Red de distribución de depuración a abastecimiento

La instalación consta de un proceso de depuración el cual se detalla en este proyecto. El proceso finaliza en un depósito principal junto a un grupo de presión que impulsa el suministro necesario de agua a los dos depósitos repartidos en cada sector del circuito.

Los tres tanques están interconectados entre sí de tal manera que se puede trasladar agua de uno a otro cualquiera tanto de ida como de retorno. Los cálculos de las tuberías se han realizado de manera homóloga a los realizados en la red de distribución de tanques a aspersores. En cada tramo de la red se han calculado las pérdidas totales para saber cuál es la altura a vencer por los grupos de presión.

Datos técnicos del tramo de suministro del tanque principal a los tanques 1 y 2.

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Caudal	486,2 L/s
Longitud	1187,22 metros
Accesorios	1 Te / 4 codos 90º
Válvulas	1 Válvula reguladora de caudal
Pérdida de carga en el punto crítico	21 metros de columna de agua

**Tabla 4.11** – Características hidráulicas del suministro de tanque principal a tanques 1 y 2.

Datos técnicos del tramo de retorno del tanque 1 al tanque principal

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Caudal	149,6 L/s
Longitud	519 metros
Accesorios	1 Te / 2 codos 90º
Pérdida de carga	21 metros de columna de agua

**Tabla 4.12** – Características hidráulicas del retorno de tanque 1 a tanque principal.



Datos técnicos del tramo de retorno del tanque 2 al tanque principal

Parámetro	Valor
Caudal	336,6 L/s
Longitud	694,6 metros
Accesorios	3 codos 90°
Pérdida de carga	9,5 metros de columna de agua

**Tabla 4.13** – Características hidráulicas del retorno de tanque 2 a tanque principal.

Datos técnicos del tramo del suministro del tanque 1 al tanque 2

Parámetro	Valor
Caudal	149,6 L/s
Longitud	515,3 metros
Accesorios	3 codos 90°
Pérdida de carga	21 metros de columna de agua

**Tabla 4.14** – Características hidráulicas del suministro de tanque 1 a tanque 2.

Datos técnicos del tramo del retorno del tanque 2 al tanque 1

Parámetro	Valor
Caudal	149,6 L/s
Longitud	515,3 metros
Accesorios	3 codos 90°
Pérdida de carga	21,5 metros de columna de agua

**Tabla 4.15** – Características hidráulicas del retorno de tanque 2 a tanque 1.

Cada tramo está impulsado por un grupo de presión con una configuración determinada que se detallada en apartados posteriores.

## 4.7. Grupos de presión

Los grupos de presión son equipos encargados de presurizar el caudal de agua a suministrar para poder cubrir la demanda de los elementos receptores que en este caso son los aspersores.

Los grupos de presión seleccionados son bombas centrífugas de cámara partida con unión embridada.

Cada sector dispone de su grupo de presión independiente que se ha dimensionado a partir de los cálculos de la distribución de suministro de cada sector. La selección de bombas se realiza a partir de dos variables que son el caudal y la altura. El valor del caudal para trabajar es el máximo que va a tener que circular por la red y el valor de altura es la suma de las pérdidas en el tramo más desfavorable. Las pérdidas vienen dadas por la fricción del fluido con las paredes de las tuberías y las ocasionadas por las desviaciones bruscas que provocan los accesorios (válvulas, codos, reducciones, manguitos, té).

Finalmente, la altura total es la suma de las pérdidas más la cota geodésica de los equipos de impulsión.

$$h_{\text{bombas}} = h_{\text{punto crítico}} + h_{\text{cota geodésica}} \quad (4.11)$$

En cada sector se estudia la disposició de las bombas ya que se hace necesario más de un equipo en todos los casos para poder cumplir con los requisitos de caudal y altura. Las configuraciones disponibles son:

- Serie
- Paralelo
- Combinado

La disposició en serie consiste en la colocació en línea de los equipos en los cuales el caudal es el mismo para cada uno de ellos y la altura es la suma de la que aporta cada uno.

La configuració en paralelo consiste en situar en diferentes líneas de trabajo los equipos con lo cual se reparte el caudal entre todas las líneas y la altura se mantiene constante para cada uno de ellos si se trata de la misma tipología de bombas.

En algunos casos la mejor opción es realizar una combinación de ambos sistemas con lo que se dispone de varias líneas de trabajo de fluido con más de un equipo en serie en cada línea.

Todos los equipos se han seleccionado a partir de modelos que aparecen en el catálogo de la compañía *Bombas IDEAL*.



**Imagen 4.2** - Bomba centrífuga modelo bombas IDEAL. Fuente: Catálogo bombas IDEAL.

### 4.7.1. Equipos de presión sector 1

Los parámetros de trabajo son los siguientes:

Parámetro	Valor
Caudal	149,6 L/s
Altura en pérdidas a vencer en el punto crítico	172,72 metros de columna de agua
Cota física a vencer	3 metros

**Tabla 4.16** – Requisitos hidráulicos a cumplir por los equipos de presión del sector 1.

A partir de estos requisitos se observa en el catálogo que equipo y con qué configuración cumple con las especificaciones. En este caso se ha seleccionado el modelo CPH 125-290 con las características siguientes:

Parámetro	Valor
Caudal	538,56 m <sup>3</sup> /h
Altura	105 metros de columna de agua
Diámetro de aspiración	200 milímetros
Diámetro impulsión	125 milímetros
Presión máxima de trabajo	16 bares
Nº de bombas totales	2
Disposición	Serie
Caudal de circulación	538,56 m <sup>3</sup> /h
Altura máxima de trabajo	210 metros de columna de agua

**Tabla 4.17** – Características técnicas del grupo de presión seleccionado para el sector 1.

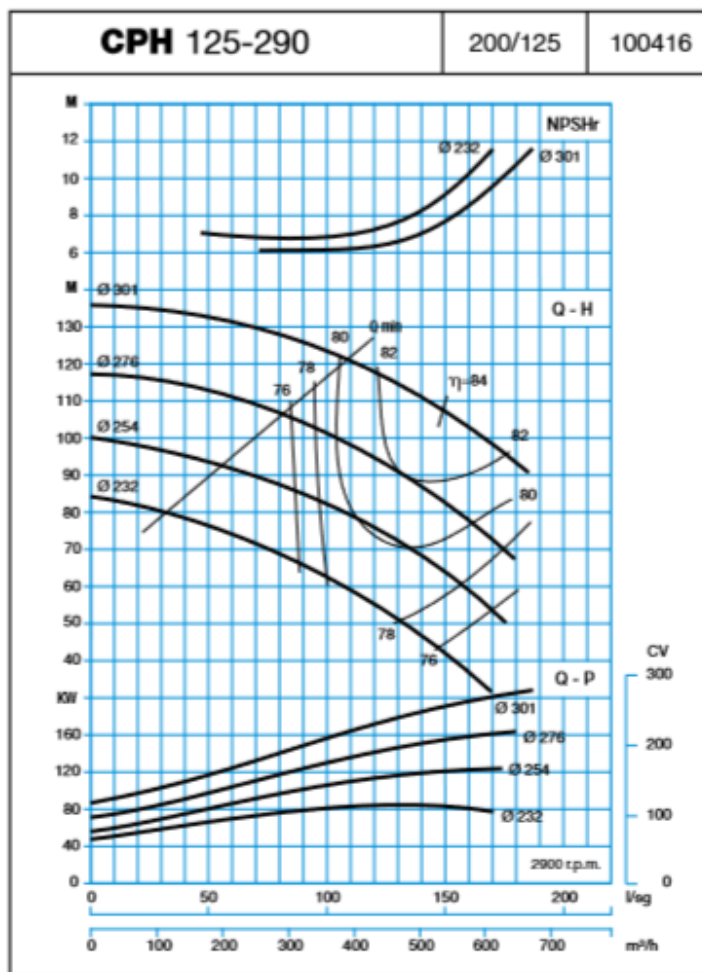


Imagen 4.3 - Curvas características de la bomba CPH 125-290.

#### 4.7.2. Equipos de presión sector 2

Los parámetros de trabajo son los siguientes:

Parámetro	Valor
Caudal	336,6 L/s
Altura en pérdidas a vencer en el punto crítico	422,6 metros de columna de agua
Cota física a vencer	3 metros

Tabla 4.18 – Requisitos hidráulicos a cumplir por los equipos de presión del sector 2.

A partir de estos requisitos se observa en el catálogo qué equipo y con qué configuración cumple con las especificaciones. En este caso se ha seleccionado el modelo CPH 400-620 con las características siguientes:

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Caudal	1211,76 m <sup>3</sup> /h
Altura	135 metros de columna de agua
Diámetro de aspiración	500 milímetros
Diámetro impulsión	400 milímetros
Presión máxima de trabajo	16 bares
Nº de bombas totales	4
Disposición	Serie
Caudal de circulación	1211,76 L/h
Altura máxima de trabajo	540 metros de columna de agua

**Tabla 4.19** – Características técnicas del grupo de presión seleccionado para el sector 2.

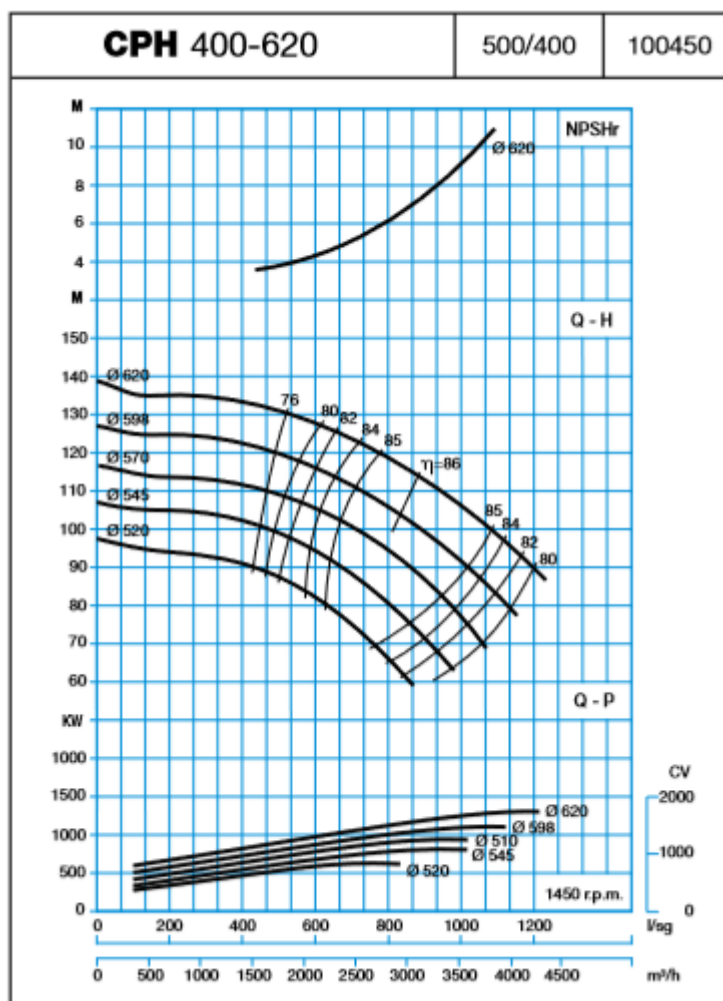


Imagen 4.4 - Curvas características de la bomba modelo CPH 400-620

### 4.7.3. Equipos de presión en la red de almacenamiento

#### 4.7.3.1. Tramo del suministro del tanque principal tanques 1 y 2

Parámetro	Valor
Caudal	486,2 L/s
Altura en pérdidas a vencer en el punto crítico	21 metros de columna de agua

**Tabla 4.20** – Requisitos hidráulicos a cumplir por los equipos de presión del tramo del tanque principal a tanques 1 y 2.

A partir de estos requisitos se observa en el catálogo qué equipo y con qué configuración cumple con las especificaciones. En este caso se ha seleccionado el modelo CPH 200-420 con las características siguientes:

Parámetro	Valor
Caudal	583,44 m <sup>3</sup> /h
Altura	25 metros de columna de agua
Diámetro de aspiración	250 milímetros
Diámetro impulsión	200 milímetros
Presión máxima de trabajo	16 bares
Nº de bombas totales	3
Disposición	Paralelo
Caudal de circulación	1750,32 m <sup>3</sup> /h
Altura máxima de trabajo	25 metros de columna de agua

**Tabla 4.21** – Características técnicas del grupo de presión seleccionado para el tramo del tanque principal a tanques 1 y 2.

#### 4.7.3.2. Tramo del retorno del tanque 1 al tanque principal

Parámetro	Valor
Caudal	149,6 L/s
Altura en pérdidas a vencer en el punto crítico	21 metros de columna de agua

**Tabla 4.22** – Requisitos hidráulicos a cumplir por los equipos de presión del tramo del tanque 1 a tanque principal.



A partir de estos requisitos se observa en el catálogo qué equipo y con qué configuración cumple con las especificaciones. En este caso se ha seleccionado el modelo CPH 200-420 con las características siguientes:

Parámetro	Valor
Caudal	583,44 m <sup>3</sup> /h
Altura	25 metros de columna de agua
Diámetro de aspiración	250 milímetros
Diámetro impulsión	200 milímetros
Presión máxima de trabajo	16 bares
Nº de bombas totales	1
Disposición	-
Caudal de circulación	1750,32 m <sup>3</sup> /h
Altura máxima de trabajo	21 metros de columna de agua

**Tabla 4.23** – Características técnicas del grupo de presión seleccionado para el tramo del tanque 1 a tanque principal.

#### 4.7.3.3. Tramo del retorno del tanque 2 al tanque principal

Parámetro	Valor
Caudal	336,6 L/s
Altura en pérdidas a vencer en el punto crítico	9,5 metros de columna de agua

**Tabla 4.24** – Requisitos hidráulicos a cumplir por los equipos de presión del tramo del tanque 2 a tanque principal.

A partir de estos requisitos se observa en el catálogo qué equipo y con qué configuración cumple con las especificaciones. En este caso se ha seleccionado el modelo CPH 200-420 con las características siguientes:

Parámetro	Valor
Caudal	605,88 m <sup>3</sup> /h
Altura	20 metros de columna de agua
Diámetro de aspiración	250 milímetros
Diámetro impulsión	200 milímetros
Presión máxima de trabajo	16 bares
Nº de bombas totales	2
Disposición	Paralelo
Caudal de circulación	1211,76 m <sup>3</sup> /h
Altura máxima de trabajo	20 metros de columna de agua

**Tabla 4.25** – Características técnicas del grupo de presión seleccionado para el tramo del tanque 2 a tanque principal.

#### 4.7.3.4. Tramo del suministro del tanque 1 al tanque 2

Parámetro	Valor
Caudal	149,6 L/s
Altura en pérdidas a vencer en el punto crítico	21 metros de columna de agua

**Tabla 4.26** – Requisitos hidráulicos a cumplir por los equipos de presión del tramo del tanque 1 a tanque 2.

A partir de estos requisitos se observa en el catálogo qué equipo y con qué configuración cumple con las especificaciones. En este caso se ha seleccionado el modelo CPH 200-420 con las características siguientes:

Parámetro	Valor
<b>Caudal</b>	538,56 m <sup>3</sup> /h
<b>Altura</b>	25 metros de columna de agua
<b>Diámetro de aspiración</b>	250 milímetros
<b>Diámetro impulsión</b>	200 milímetros
<b>Presión máxima de trabajo</b>	16 bares
<b>Nº de bombas totales</b>	1
<b>Disposición</b>	-
<b>Caudal de circulación</b>	538,56 m <sup>3</sup> /h
<b>Altura máxima de trabajo</b>	21 metros de columna de agua

**Tabla 4.27** – Requisitos hidráulicos a cumplir por los equipos de presión del tramo del tanque 1 a tanque 2.

#### 4.7.3.5. Tramo del retorno del tanque 2 al tanque 1

Parámetro	Valor
Caudal	149,6 L/s
Altura en pérdidas a vencer en el punto crítico	21,5 metros de columna de agua

**Tabla 4.28** – Requisitos hidráulicos a cumplir por los equipos de presión del tramo del tanque 2 a tanque 1.

A partir de estos requisitos se observa en el catálogo qué equipo y con qué configuración cumple con las especificaciones. En este caso se ha seleccionado el modelo CPH 200-420 con las características siguientes:

Parámetro	Valor
Caudal	538,56 m <sup>3</sup> /h
Altura	25 metros de columna de agua
Diámetro de aspiración	250 milímetros
Diámetro impulsión	200 milímetros
Presión máxima de trabajo	16 bares
Nº de bombas totales	1
Disposición	-
Caudal de circulación	538,56 m <sup>3</sup> /h
Altura máxima de trabajo	25 metros de columna de agua

**Tabla 4.29** – Requisitos hidráulicos a cumplir por los equipos de presión del tramo del tanque 2 a tanque 1.

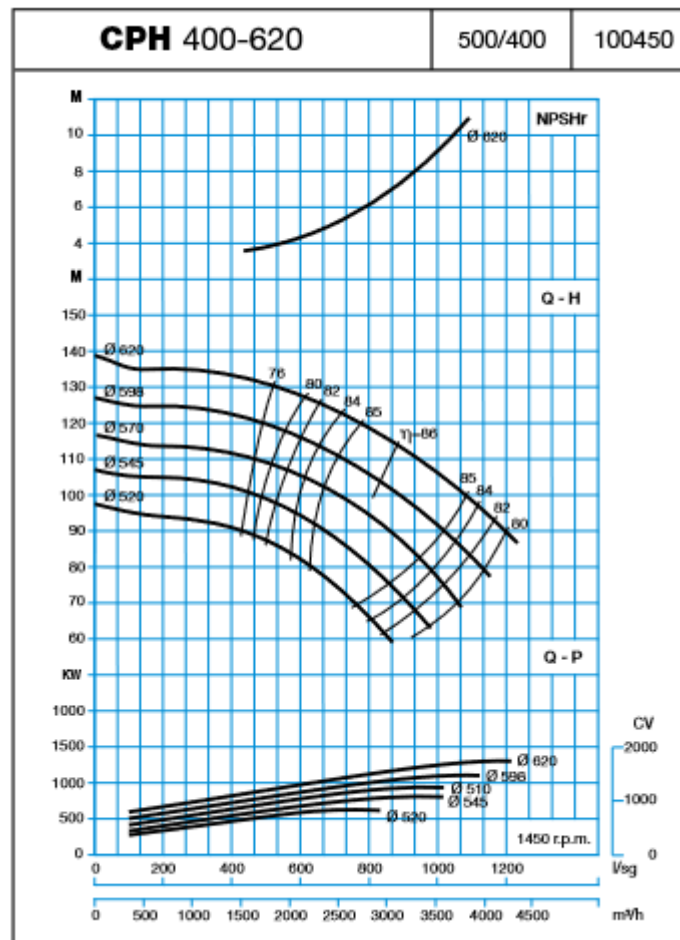


Imagen 4.5 - Curvas características de la bomba modelo CPH 200-420

## 4.8. Material de las tuberías

Las tuberías son una parte muy relevante de la instalación ya que son por donde circula el fluido. El material de las mismas debe aportar las propiedades necesarias para que la circulación de agua se realice sin inconvenientes.

Existen dos opciones, el plástico y el acero inoxidable. Los dos tipos de materiales presentan ventajas e inconvenientes y el trabajo ha sido discernir cuál de los dos es el óptimo.

El acero inoxidable es un material que se emplea en multitud de aplicaciones y está extendido en el mercado. Es un material con el que se lleva trabajando desde hace mucho tiempo en el sector de la distribución de agua con lo que se conocen casi a la perfección sus prestaciones. El acero tiene la capacidad de poder trabajar con presiones más elevadas, aunque es cierto que con el desgaste padecen el fenómeno de la corrosión.

El plástico es un material en auge y que cada vez se está utilizando más en sector de la distribución de agua. Es cierto que se utiliza el plástico principalmente en instalaciones domésticas, pero se cada día son más las instalaciones de gran transporte de caudal que optan por este material. Las tuberías plásticas no presentan el fenómeno de la corrosión, pero a su vez no son capaces de resistir presiones tan elevadas como el acero.

Finalmente, después de estudiar los dos tipos de materiales y sus propiedades se ha optado porque todas las tuberías sean de acero inoxidable. El criterio principal de decisión es que las presiones que puede llegar a soportar son mucho más elevadas y en esta instalación hay puntos con presiones considerables. Además, es cierto que sigue existiendo el inconveniente de la corrosión, pero al tratarse de acero inoxidable, la gran cantidad de cromo en su composición le aporta gran resistencia a este fenómeno. Las temperaturas críticas en acero ya que ayudan a la aparición de corrosión están situadas por debajo de 10°C y por encima de 50°C. El rango de trabajo del agua en la instalación estará alrededor de 20°C por lo que el acero inoxidable no debe sufrir en exceso la corrosión. Aun así, se aconseja una revisión del estado de las tuberías periódicamente y un mantenimiento adecuado de las mismas.

## 5. Instalación de drenaje

### 5.1. Generalidades

La instalación de drenaje tiene como objetivo recoger la máxima cantidad posible de agua caída sobre el circuito (ya sea de forma natural mediante lluvia, o artificialmente mediante el sistema de riego) y transportarla hasta la depuradora para su procesado.

Esta recolección de agua cumple dos funciones principales:

**Protección del circuito.** La existencia de un sistema de drenaje protege las zonas vulnerables a inundaciones o acumulación de agua. Entre ellas, se encuentran las zonas con superficie menos permeable o impermeable como pueden ser los parkings o la pista, así como las calles que comunican los distintos sectores y el camino perimetral.

Cualquier acumulación excesiva de agua en la pista o escapatorias podría impedir el normal funcionamiento del circuito y/o la interrupción de la actividad que se esté desarrollando o se pretenda desarrollar.

**Obtención de agua.** La reutilización del agua de lluvia y/o regada es un criterio de diseño básico del presente proyecto. Es esencial maximizar la cantidad de agua recolectada para disminuir los posteriores costes en cada maniobra de riego.

Tal y como se explicará en el posterior apartado de depuración (6.2), el sistema se ubicará en la parcela inferior izquierda según se muestra en la siguiente vista aérea:



**Imagen 5.1** - Localización de la depuradora.

## 5.2. Superficie de recogida y estimaciones

Como se mostró en el apartado descriptivo de las instalaciones ya existentes (3.5), la superficie con potencial de recolección es extensa e irregularmente distribuida en zonas pavimentadas y zonas naturales entre los diferentes sectores de drenaje.

Los sectores de drenaje cuentan con las siguientes áreas de recolección:

Sector	$A_t$ (m <sup>2</sup> )	$A_{asf}$ (m <sup>2</sup> )	% <sub>asf</sub>
1	141.759	27.764	19,59
2	77.477	66.106	85,32
3	82.755	21.373	25,83

**Tabla 5.1** – Áreas de recolección por sector.



Donde:

- A: área total de recolección
- $A_{\text{asf}}$ : área total de recolección asfaltada o pavimentada
- $\%_{\text{asf}}$ : proporción de área asfaltada o pavimentada respecto total

El tipo de suelo que favorece la recuperación de agua es el pavimentado, mientras que de las zonas naturales forman parte distintos factores que impiden una recuperación constante de agua.

### 5.2.1. Zonas pavimentadas

Las zonas pavimentadas suman la mayoría de la capacidad de recuperación de agua del sistema de drenaje. La casi impermeabilidad de los materiales usados asegura la distribución del agua hacia los canales de drenaje cercanos. Aun así, los efectos de evaporación y filtrado (aunque sea mínimo) reducen el rendimiento de las zonas pavimentadas.

Es destacable que el rendimiento de recuperación no es constante en el tiempo, puesto que el efecto de la evaporación es más notable durante las primeras gotas caídas y su impacto se reduce progresivamente. Dependerá, además, de la humedad y las temperaturas del suelo y aire.

Por tanto, con el objetivo de fijar un parámetro viable para posteriores cálculos, se adopta un valor conservador del rendimiento de recuperación en zonas pavimentadas del 60%, entendiendo dicho rendimiento como:

$$\text{Rend}_{\text{pav}} = \frac{\text{Agua recogida}}{\text{Agua caída}} = 0,6 \text{ (60\%)} \quad (5.1)$$

### 5.2.2. Zonas no pavimentadas

En el caso de zonas sin pavimento, los efectos negativos a la recuperación de agua se agravan considerablemente. En este caso, la capacidad de recuperación se ve afectada por los mismos efectos que en zonas pavimentadas con el añadido de filtración y absorción natural (agua que termina en acuíferos y es irre recuperable) y la absorción propia de las distintas plantas y organismos que cubren parte de estas zonas.

Además, según la instalación de drenaje ya existente, únicamente las escapatorias de las curvas y otras zonas muy reducidas en número cuentan con evacuación de agua para zonas no pavimentadas.

De la misma forma que se estableció un rendimiento para zonas no pavimentadas, se hace lo mismo para zonas con suelo natural.

En este caso, se adopta un valor conservador del rendimiento de recuperación en zonas no pavimentadas del 20%, entendiéndose como:

$$\text{Rend}_{\text{no pav}} = \frac{\text{Agua recogida}}{\text{Agua caída}} = 0,2 \text{ (20\%)} \quad (5.2)$$

### 5.2.3. Resumen de rendimientos

En los anteriores apartados se han determinado dos rendimientos de recuperación, uno para zonas pavimentadas y otro para zonas naturales. Sin embargo, existen dos eventos distintos en los que el sistema de drenaje actúa: lluvia natural o artificial.

En el evento de **lluvia natural**, el sistema completo de drenaje estará en funcionamiento. esto es, todas las zonas equipadas con sistema de drenaje estarán recolectando agua. En este caso, las zonas pavimentadas recuperarán el 60% y las naturales el 20%, según se ha explicado previamente.

En el evento de **lluvia artificial**, el riego ocurre únicamente sobre la pista. Debido a la geometría del abanico rociador de los aspersores, no se asegura que el 100% del agua caiga sobre suelo pavimentado, de modo que parte del agua caerá sobre las inmediaciones no pavimentadas de la pista. Para este caso, se unificarán los rendimientos de los diferentes suelos y se adoptará un rendimiento del 50% para agua lanzada artificialmente.

Los rendimientos de recuperación se resumen en la siguiente tabla:

Evento	Rendimiento de recuperación
Lluvia artificial	50%
Lluvia natural	20% - Zonas no pavimentadas 60% - Zonas pavimentadas

**Tabla 5.2** – Rendimientos de recuperación de agua según tipo de lluvia.

### 5.3. Potencial de recolección anual

Para el caso de lluvia, es posible estimar la cantidad de agua disponible para recolectar a lo largo del año. Los datos climatológicos expuestos en el apartado 3.5.2 y las superficies y rendimientos calculados en el apartado 5.2 se relacionan de la siguiente forma:

$$V_{\text{rec}} = V_{\text{lluvia}} \cdot (\text{Rend}_{\text{pav}} \cdot A_{\text{pav}} + \text{Rend}_{\text{no pav}} \cdot A_{\text{no pav}}) \quad (5.3)$$

Donde:

- $V_{\text{rec}}$ : volumen potencial de recolección anual en  $\text{m}^3/\text{año}$
- $V_{\text{lluvia}}$ : volumen de agua caído por lluvia a lo largo del año en  $\text{L}/\text{m}^2 \cdot \text{año}$
- $\text{Rend}_{\text{pav}}$ : rendimiento de las zonas pavimentadas

- Rend<sub>nat</sub>: rendimiento de las zonas naturales (no pavimentadas)
- A<sub>pav</sub>: área de recolección de las zonas pavimentadas en m<sup>2</sup>
- A<sub>no pav</sub>: área de recolección de las zonas no pavimentadas en m<sup>2</sup>

Para las superficies y rendimientos calculados con anterioridad, y la media de agua caída por lluvia de 361,94 L/m<sup>2</sup>·año, empleando la ecuación (5.3):

$$V_{\text{rec}} = 361,94 \cdot (0,6 + 115.243 + 0,2 \cdot 186.748) = 38.545 \text{ m}^3/\text{año}$$

Por tanto, el potencial de recolección anual de agua pluvial se sitúa en 38.545 m<sup>3</sup>. Debido a la naturaleza caótica de la meteorología, este valor es muy dependiente de periodos de sequía y alteraciones en la media de lluvia.

## 5.4. Caudal máximo

Con el objetivo de dimensionar los nuevos tubos y canales de drenaje, es necesario determinar la situación de máxima carga para asegurar la correcta evacuación de todo el caudal.

Como base de una situación de máxima carga, se toma la máxima cantidad de agua registrada en un día, estimándose sobre un periodo de 2 horas. Según los datos mostrados en el apartado 3.5.28, corresponde una caída de 65,8 L/m<sup>2</sup>.

De forma similar al cálculo del potencial de recolección anual (5.3), se establece:

$$Q_{\text{máx}} = Q_{\text{lluvia}} \cdot (\text{Rend}_{\text{pav}} \cdot A_{\text{pav}} + \text{Rend}_{\text{no pav}} \cdot A_{\text{no pav}}) \quad (5.4)$$

Donde:

- Q<sub>máx</sub>: caudal máximo en m<sup>3</sup>/s

- $Q_{lluvia}$ : caudal de lluvia en  $L/m^2 \cdot s$
- $Rend_{pav}$ : rendimiento de las zonas pavimentadas
- $Rend_{nat}$ : rendimiento de las zonas naturales (no pavimentadas)
- $A_{pav}$ : área de recolección de las zonas pavimentadas en  $m^2$
- $A_{nat}$ : área de recolección de las zonas naturales en  $m^2$

Se resumen los resultados de este cálculo para todos los sectores:

Sector	$A_{pav} (m^2)$	$A_{no\ pav} (m^2)$	$Q_{m\acute{a}x} (m^3/s)$
1	27.764	113.995	0,36
2	66.106	11.371	0,38
3	21.373	61.382	0,23
<b>Total</b>	<b>115.243</b>	<b>186.748</b>	<b>0,97</b>

**Tabla 5.3** – Caudal máximo total y por sectores de drenaje.

Estos caudales representan, por tanto, el caudal máximo al que se enfrentará el drenaje de cada sector, así como el total.

## 5.5. Utilización de la instalación existente

Según se expuso en el apartado 3.5, la red de drenaje existente es extensa y muy completa. Además, ha estado en funcionamiento durante gran parte de la vida del circuito, por lo que se asume su eficacia en cuanto al cumplimiento de las funciones básicas se refiere. En el presente proyecto se utilizará la instalación existente de drenaje como base de la recolección de agua, y se realizarán modificaciones en los tramos finales para reconducir el caudal de agua hasta la depuradora.

No se contempla la ampliación de la red más allá de la reconducción a la depuradora. Según el estudio realizado en el apartado 5.3, la capacidad de recolección es aceptable, y las zonas pavimentadas que no cuentan con drenaje a la red principal son de superficie muy reducida. La posible marginal ampliación de la capacidad de recolección mediante la instalación de drenaje en estas áreas no justifica la inversión necesaria para llevarla a cabo.

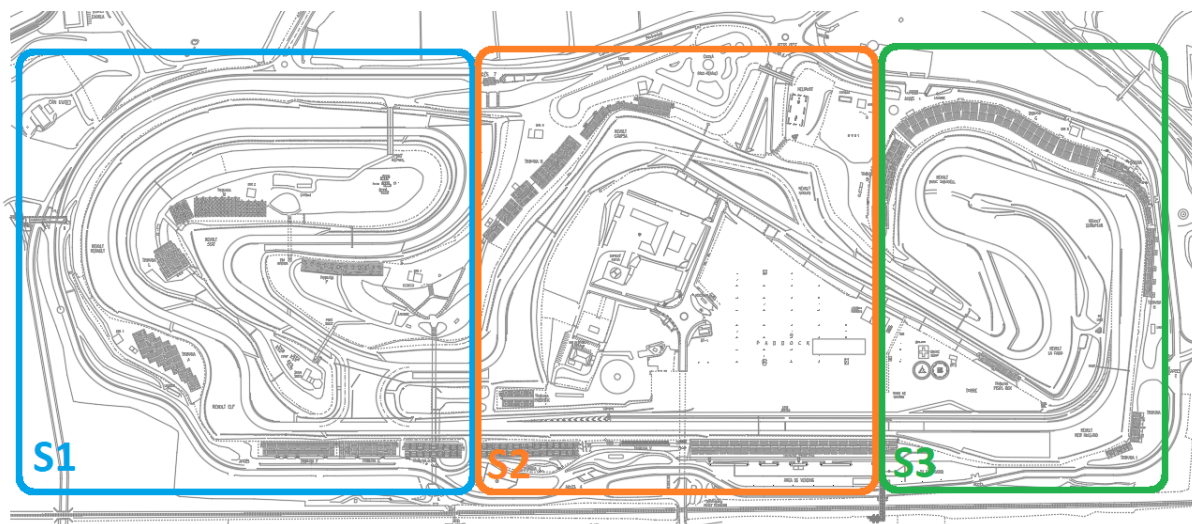
## 5.6. Diseño de la ampliación de la red de drenaje

### 5.6.1. Criterios generales de diseño

El principal objetivo de esta ampliación es reconducir el caudal de agua recogido por los sectores 1, 2 y 3 hasta la depuradora, donde será tratado.

La instalación deberá poder trabajar bajo situación de máxima carga, según se calculó en el apartado 5.4, y con un margen de seguridad.

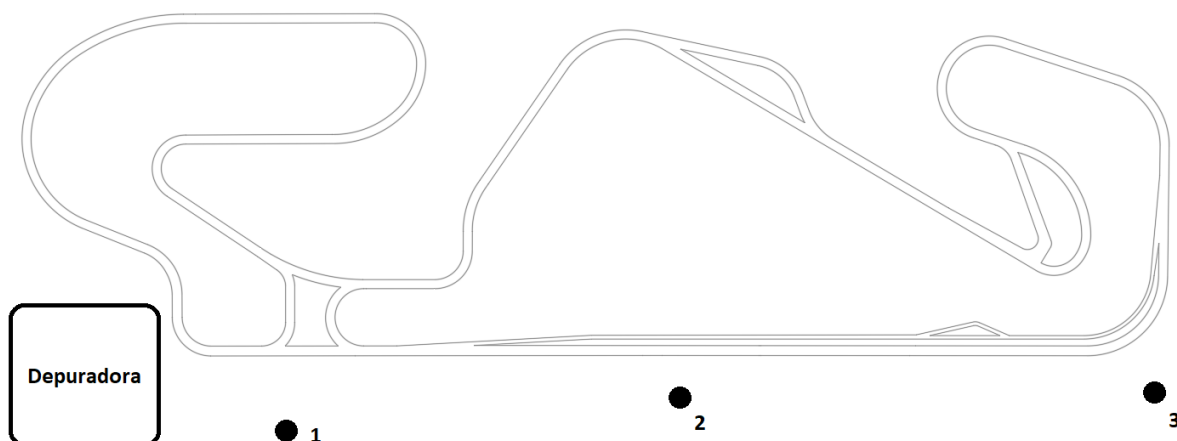
Los nuevos conductos, así como su trazado, no deberán interferir en las operaciones normales del circuito, ni en el transporte por los caminos perimetrales.



**Imagen 5.2** - Distribución de los sectores de drenaje en la instalación existente.

### 5.6.2. Trazado del conducto

Se instalará únicamente una línea de conductos, que recogerá el agua de los colectores generales de cada sector. El punto de evacuación de cada sector se muestra de forma esquemática en la siguiente imagen, en base al trazado:



**Imagen 5.3** - Localización esquemática de los puntos de evacuación de los diferentes sectores.

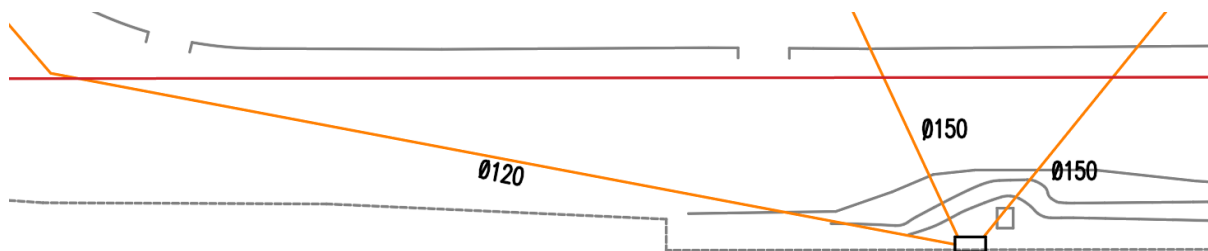
La nueva línea tendrá su inicio en el punto de evacuación del sector 3, y terminará en la depuradora. A lo largo del trayecto recogerá también el caudal de los sectores 1 y 2.

En los sectores 2 y 3 una única línea transporta todo el caudal recogido hasta el punto de evacuación, en cuyo caso la unión con el nuevo conducto es simple.

Sin embargo, como se recogió en el apartado 3.5, el sector 1 recoge el agua en tres conductos aproximadamente equivalentes en cuanto a caudal. El punto de evacuación del sector 1, donde se conectan los tres conductos, está muy alejado del trazado más lineal posible uniendo el inicio y el final de la nueva línea.

Por tanto, en el caso del sector 1, la nueva línea se unirá con cada uno de los tres conductos individualmente.

En la siguiente imagen, con los trazados extraídos del plano, se esquematiza el trazado de la nueva línea (rojo) y los puntos donde interceptaría los conductos del sector 1 (naranja).



**Imagen 5.4** - Esquema de la unión entre la nueva línea y los conductos del sector 1.

Las uniones se realizarán en arquetas.

### 5.6.3. Conductos

Los conductos serán tubos de PVC corrugados enterrados.

Su diámetro debe asegurar el paso del caudal necesario. En todos los tramos se dimensiona el conducto para un caudal 1,1 veces mayor (10%) al caudal máximo, de forma que se protege el circuito ante diluvios excepcionalmente intensos y se permite mantener la línea ante futuras expansiones de la red de drenaje.



Las ecuaciones y cálculos que gobiernan el problema son las siguientes:

$$\theta = \pi + 2\arcsen\left(\frac{y_n - d/2}{d/2}\right) \quad (5.5)$$

$$A = \frac{d^2}{8}(\theta - \sen(\theta)) \quad (5.6)$$

$$P = \frac{1}{2}\theta d \quad (5.7)$$

$$R = \frac{A}{P} \quad (5.8)$$

$$Q_{adm} = -2A\sqrt{8gRS_o} \log_{10}\left(\frac{k_s}{14,8R} + \frac{2,5v}{4R\sqrt{8gRS_o}}\right) \quad (5.9)$$

Donde:

- $y_n$ : relación diámetro-profundidad (se utiliza 0,85)
- $d$ : diámetro de la tubería
- $S_o$ : pendiente del tramo
- $k_s$ : rugosidad absoluta del tubo
- $v$ : viscosidad cinemática del agua

Para la instalación proyectada, se fuerza un pendiente mínimo en cada tramo para asegurar la correcta conducción del agua. Este pendiente deberá comprobarse durante la construcción.

La siguiente tabla resume las dimensiones elegidas de los conductos, así como diferentes variables de interés.

Tramo	DN (mm)	Di (mm)	L (m)	S (%)	Qt (m <sup>3</sup> /s)	Qt' (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>adm</sub> (m <sup>3</sup> /s)
3-2	500	451,8	580,9	0,75	0,229	0,252	0.344
2-1a	630	590	381,3	1	0,613	0,674	0.802
1a-1b	800	775	43,7	1	0,733	0,806	1.633
1b-1c	800	775	161,4	1	0,853	0,938	1.633
1c- Dep	800	775	85,67	1	0,973	1,070	1.633

**Tabla 5.4** – Selección de tuberías de drenaje.

Donde:

- DN: diámetro nominal de los conductos
- Di: diámetro interior de los conductos
- L: longitud del tramo
- S: pendiente mínimo forzado del tramo
- Qt: caudal máximo que circulará por el tramo
- Qt': caudal máximo que circulará por el tramo, ampliado un 10%
- Q<sub>adm</sub>: caudal máximo admisible por la tubería

#### 5.6.4. Exceso de agua

En caso que se quiera cortar el suministro de agua a la depuradora (ya sea por el llenado completo del tanque, o tareas de mantenimiento), se debe poder desviar el caudal entrante. Este problema se solucionará con una desviación en “T” antes de la depuradora, con una tapa de acceso y compuertas guillotina instaladas en la unión para permitir la desviación manual (o automática si se desea) del caudal drenado.

## 6. Depuradora

### 6.1. Generalidades

El objetivo de la estación depuradora es eliminar del agua drenada del circuito aquellos elementos que la ensucian, como grasas y arenas, entre otros. Pese a tratar únicamente agua pluvial o regada, el paso del fluido por el asfalto de la pista y/o alrededores asegura el arrastre de partículas u objetos por los canales de drenaje.

Debido a la distribución de los caudales, la mayor parte del agua drenada se encuentra en la mitad izquierda del circuito, mientras que la mitad derecha recoge el menor caudal (sector de drenaje nº3). Pero esto mismo, se construirá una única estación depuradora que tratará la totalidad del caudal.

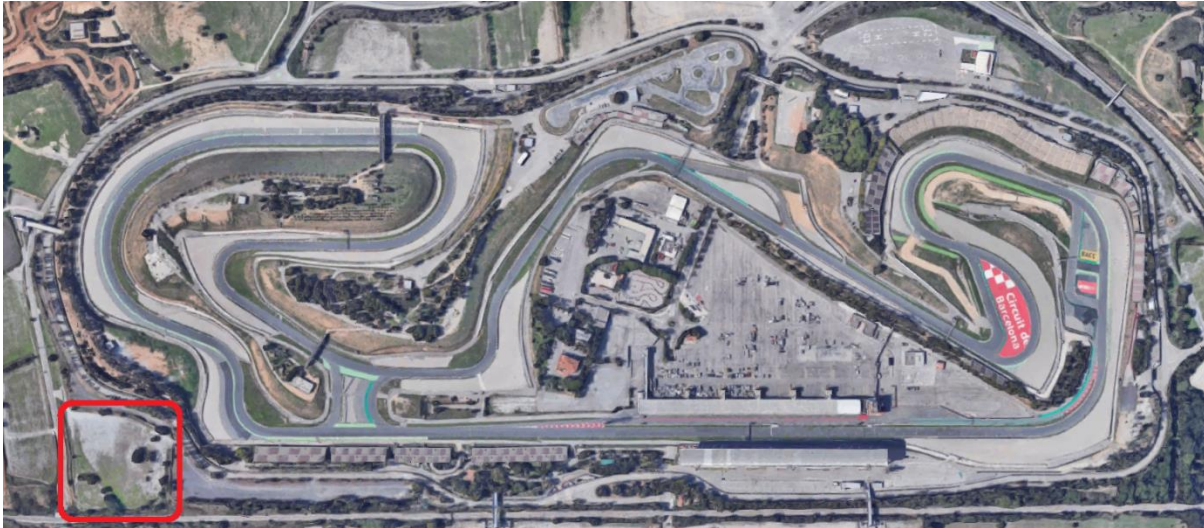
### 6.2. Localización

La superficie interior del Circuit de Barcelona-Catalunya está prácticamente completa, y debido al tamaño de algunos procesos, no es posible situar la depuradora en estas zonas.

La depuradora se situará en la esquina inferior izquierda, según se indica en el Plano Nº2, en un terraplén cuyo uso actual es de parking durante eventos deportivos. La parcela tiene dos accesos a dos carreteras diferentes (además, se proyectará su mejora y adecuación), permitiendo el acceso a vehículos.

A pesar de su colocación en una esquina, como el riego se realiza desde los tanques secundarios repartidos por el circuito, no existe una demanda instantánea

de caudal de salida en la depuradora, por lo que se alivia el impacto de la posición tan lejana donde se construye.



**Imagen 6.1** - Localización de la depuradora en base a vista aérea. Fuente del mapa: Google Maps.

## 6.3. Caracterización del agua y caudal

### 6.3.1. Caracterización del agua

El agua de entrada tendrá un grado de limpieza elevado, puesto que su fuente original será siempre agua regada (que habrá sido previamente depurada) o agua pluvial. Las impurezas se introducen durante su recorrido desde la toma de contacto con el suelo hasta la entrada a la depuradora. Se consideran los siguientes factores:

**Sólidos:** es posible que sólidos se introduzcan en el sistema a través de las cunetas abiertas o a través de las rejillas en los canales con drenaje superior. En este grupo se incluyen objetos como ramas y/o hojas de árboles, piedras, restos de partes de vehículo, o animales, entre otros.

**Partícules:** debido al arrastre, el agua contendrá partículas de arena, grava y tierra, así como cualquier otra sustancia total o parcialmente soluble en agua, capaz de adherirse a la mezcla durante el recorrido hasta la depuradora.

**Hidrocarburos:** durante el recorrido del agua por el asfalto de la pista, arrastrará hidrocarburos provenientes de los vehículos que circulan.

**Restos biológicos:** es posible que restos biológicos y/u orgánicos entren en el sistema de drenaje principalmente debido a animales. Sin embargo, la fracción orgánica en los caudales con los que se trabaja será de impacto muy pequeño.

Los principales agentes contaminantes para esta agua serán pequeños sólidos, partículas en flotación e hidrocarburos.

### 6.3.2. Caracterización del caudal

A diferencia de lo encontrado habitualmente en una EDAR (Estación Depuradora de Aguas Residuales), el caudal de esta depuradora es muy inestable e impredecible. Únicamente dos eventos pueden producir caudal: riego o lluvia.

#### 6.3.2.1. Evento de riego

En el caso de riego, el caudal es controlable y predecible, y alcanza su pico en un 50% del caudal máximo de riego (puesto que la estimación de retorno para el riego se ha situado en 50%). Por tanto:

$$Q_{\text{máx}} = 0,5 \cdot Q_{\text{máx riego}} = 0,5 \cdot 0,484 \text{ m}^3/\text{s} = 0,242 \text{ m}^3/\text{s} \quad (6.1)$$

### 6.3.2.2. Evento de lluvia

En caso de lluvia, el caudal depende de la intensidad de la misma. El caudal de referencia tomado es el caudal máximo, según el estudio del clima realizado en el apartado 3.5.2 y los caudales extraídos del mismo en el apartado 5.4.

El caudal máximo, en caso de lluvia, se sitúa en  $Q_{\text{máx}} = 0,97 \text{ m}^3/\text{s}$ .

## 6.4. Selección de procesos

El agua objetivo debe estar depurada (no potable), sin sólidos, partículas ni grasas. Para cada agente contaminante se selecciona un proceso encargado de su eliminación.

### 6.4.1. Eliminación de sólidos

La probabilidad de sólidos de pequeño tamaño entrando en el sistema de drenaje es alta, y algo menor para sólidos más grandes. Sin embargo, cualquier existencia de objetos sólidos durante las fases posteriores de depuración podría dañar los equipos de bombeo y transporte, por lo que es necesario asegurar su eliminación.

Los sólidos se eliminarán en un proceso de desbaste. Será el primer proceso de la depuración, y se colocará inmediatamente después de la unión en T con las compuertas guillotina.

### 6.4.2. Eliminación de partículas arenosas

Si el agua contiene partículas sólidas en flotación, se produciría un desgaste continuo por abrasión en los equipos de bombeo y transporte de las posteriores

instalaciones, con alto impacto en los costes de mantenimiento. Este agente contaminante no es omisible.

Las arenas se eliminarán en un proceso de desarenado por sedimentación.

### **6.4.3. Eliminación de grasas e hidrocarburos**

Algunos componentes de estos agentes contaminantes pueden ser nocivos si forman parte del agua durante su riego (principalmente todos los que provengan de restos de vehículos), por lo que es necesaria su eliminación. Además, si alguno de estos componentes es capaz de generar burbujas de aire durante su viaje por conductos, es probable que sucedan fenómenos de cavitación y dichas burbujas implosionen, causando daños en el interior de los equipos.

Las grasas e hidrocarburos (así como cualquier otra sustancia fluida con menor densidad que el agua) se eliminarán en un proceso de desengrasado.

Debido a la naturaleza del proceso, tanto desarenado como desengrasado se llevarán a cabo en la misma fase, simultáneamente. Esto permitirá su simplificación y ahorro de espacio.

### **6.4.4. Consideraciones sobre restos biológicos y orgánicos**

De nuevo, las diferencias con una EDAR son notables, y una de las mayores diferencias es la ausencia de la mayoría de restos biológicos que se pueden encontrar en dichas estaciones.

En el caso de la instalación proyectada, los principales contribuyentes de este tipo de restos son los animales que puedan (vivos o muertos) introducirse en el sistema o los restos vegetales que sean arrastrados por los conductos. En la mayoría de los casos, este tipo de restos será eliminado en el desbaste o en el desarenado/desengrasado. La fracción orgánica que sobrevivirá estos dos

procesos es suficientemente reducida como para no justificar la construcción de un proceso único para eliminar restos orgánicos.

## 6.5. Desbaste

El objetivo del proceso de desbaste es la eliminación de la mayoría de los sólidos presentes en el agua. Para la estación proyectada, el objetivo es la eliminación de todos los sólidos mayores a 1 cm.

Debido al grado de limpieza del agua, únicamente se instalarán dos fases de filtrado: una para sólidos gruesos y otra para sólidos finos.

El sistema elegido es el de filtros de barrotes.

### 6.5.1. Filtros

Los filtros estarán compuestos por barrotes verticales dispuestos a lo ancho del canal, impidiendo el paso de sólidos. El número y medida de éstos dependerá de los sólidos eliminados en cada fase (finos o gruesos).

La limpieza de los barrotes será manual, debido a la poca concentración de sólidos que se agruparán en la parte inferior del canal. Para facilitar la faena del operario, los barrotes se instalarán con una inclinación de 60° respecto la horizontal, y en la parte superior se colocará una bandeja escurridora para el secado y recogida de los sólidos atrapados.



## 6.5.2. Càlculo

### 6.5.2.1. Criterios de càlculo

El canal y filtros se dimensionan para la situación de caudal máximo, calculado anteriormente como  $Q_{\text{máx}} = 0,973 \simeq 1 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Además, en ambas fases de filtrado se cumplirán los siguientes criterios de diseño para procesos de desbaste:

Parámetro	Valor
Velocidad máxima de paso	1,4 m/s para caudal máximo
Pérdida de carga máxima	15 cm.c.a para caudal medio

**Tabla 6.1** – Requisitos a cumplir por el sistema de desbaste.

Una velocidad excesivamente elevada podría empujar los sólidos atrapados a través del filtro. El ancho y profundidad del canal se dimensionan acorde a mantener una velocidad máxima de 1,4 m/s.

Las ecuaciones utilizadas son las siguientes:

$$A_R = B_c \cdot \frac{L}{L + b} \cdot \left(1 - \frac{G}{100}\right) \quad (6.2)$$

$$P = Q \cdot \frac{b + L}{\left(1 - \frac{G}{100}\right) \cdot V_p \cdot L \cdot B_c} \quad (6.3)$$

$$\Delta H = \frac{V_p^2}{9,1} \quad (6.4)$$

$$N = \frac{B_R - L}{b + L} \quad (6.5)$$

Donde:

- $A_R$ : área útil en la zona de rejillas
- $B_c$ : ancho del canal
- $L$ : luz (espacio entre barrotes)
- $B$ : ancho de cada barrote
- $G$ : grado de colmatación, se emplea 30%
- $P$ : profundidad en la zona de rejillas
- $Q$ : caudal a tratar
- $V_p$ : velocidad de paso por las rejillas
- $\Delta H$ : pérdida de carga producida por las rejillas
- $N$ : número de barrotes
- $B_R$ : ancho del canal en la zona de rejillas

#### 6.5.2.2. Filtro para sólidos gruesos

El primer filtro que encontrará el flujo de agua es el de sólidos gruesos. En esta fase, el objetivo es impedir el paso de sólidos mayores a 5 cm, para reducir la carga de filtrado que sufrirá la segunda fase.

Las especificaciones del filtro para sólidos gruesos son las siguientes:

Parámetro	Valor
Separación entre barrotes (luz)	5 cm
Grueso de los barrotes	2,5 cm (1")
Número de barrotes	19

Ancho del canal en este punto	1,5 m
Profundidad del canal en este punto	1 m
Pérdida de carga	11 cm.c.a

**Tabla 6.2** – Especificaciones del filtro para sólidos gruesos.

### 6.5.2.3. Filtro para sólidos finos

La segunda fase de filtrado, para sólidos finos, eliminará del caudal aquellos sólidos superiores a 1 cm. Se asume que cualquier sólido capaz de cruzar a través del filtro será eliminado por decantación en el posterior proceso de desarenado.

Las especificaciones del filtro para sólidos finos son las siguientes:

Parámetro	Valor
Separación entre barrotes (luz)	1 cm
Grueso de los barrotes	1,3 cm (1/2")
Número de barrotes	97
Ancho del canal en este punto	2,25 m
Profundidad del canal en este punto	1 m
Pérdida de carga	11 cm.c.a

**Tabla 6.3** – Especificaciones del filtro para sólidos finos.

### 6.5.3. Especificaciones del canal

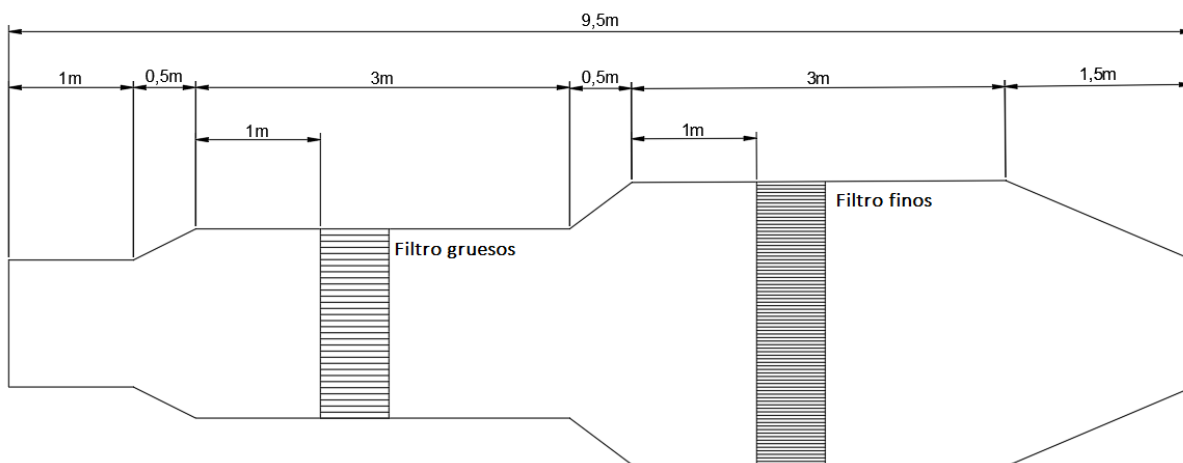
El canal se inicia en la salida del agua de los conductos de drenaje, y finaliza en la transición al proceso de desarenado/desengrasado. Debido a la inestabilidad del

caudal, el canal se construirá con un 1% de pendiente para asegurar el paso del agua y evitar la sedimentación de partículas.

Será un canal abierto, de sección rectangular variable, construido en hormigón.

Los filtros se han dimensionado para mantener la profundidad básica del canal constante (sin considerar el efecto del pendiente forzado) de 1m, y se modificará el ancho.

A continuación, se muestra un esquema propuesto en planta del canal:



**Imagen 6.2** – Propuesta de dimensiones para el canal de desbaste.

Se puede apreciar el ensanchamiento previo a cada filtro de modo que la velocidad se ajusta a la máxima permitida (puesto que los barrotes reducen el área de paso).

Este esquema es orientativo, pues las dimensiones que se deben respetar son la profundidad y ancho en cada filtro, pero las longitudes pueden modificarse ligeramente.

## 6.6. Desarenado y desengrasado

### 6.6.1. Desarenado

El proceso de desarenado es aquel en el que se realiza la eliminación de las arenas del agua con tal de mejorar la depuración de la misma.

Los desarenadores consisten en un ensanchamiento del canal del proceso anterior de desbaste, en el cual la velocidad del agua disminuye lo necesario para de esta forma producir la sedimentación de las partículas de arena. En ningún caso la velocidad debe ser demasiado baja porque de lo contrario podría producirse el efecto de asentamiento de materia. El diseño de este tipo de instalaciones está basado en las velocidades de sedimentación de las partículas que quieren removerse.

Diámetro de la partícula	Velocidad de sedimentación
0,15 mm	40 a 50 m/h
0,20 mm	65 a 75 m/h
0,25 mm	85 a 95 m/h
0,30 mm	105 a 120 m/h

**Tabla 6.4** – Velocidad de las partículas de arena en función del diámetro.

El contenido de materia orgánica en las arenas extraídas está, usualmente, entre el 3 y el 5%.

Los canales desarenadores se diseñan con el caudal punta para satisfacer la demanda de depuración en los casos límites. El resto de casos en los cuales el caudal sea menor que el caudal máximo de carga están cubiertos por el dimensionado de la instalación.

El proceso debe ser lo más eficaz posible ya que las partículas de arena pueden llegar a causar abrasión y otros desperfectos en tuberías y equipos de la estación depuradora. El tamaño de dichas partículas suele ser alrededor de los 0,15 milímetros de diámetro.

### **6.6.2. Desarenado - Desengrasado**

En el circuito además de residuos de polvo y arena, existe la posibilidad que se acumulen residuos de sustancias orgánicas como son aceites, grasas y otros compuestos lubricantes.

Generalmente se puede considerar que se tratan de hidrocarburos.

Las sustancias lubricantes pueden depositarse en la pista debido a que los coches sueltan estos líquidos a su paso por el circuito con lo que manchan el suelo. El agua que entra en contacto con los hidrocarburos queda en cierto modo contaminada y es necesaria la depuración también de este tipo de sustancias. Por otro lado, también se busca evitar la aparición de organismos biológicos que no conviene que aparezcan para que el agua quede perfectamente depurada.

La opción escogida para retirar la arena y las grasas ha sido la de fusionar ambos procesos en un mismo recinto. Es una práctica que se realiza habitualmente ya que supone un incremento en la eficiencia del proceso y se consigue una rentabilidad económica.

La confección de la unidad es parecida a la de un desarenador convencional incluyendo parámetros que alteran el dimensionado para que ambos procesos sean exitosos. Por lo tanto, se trata de un conjunto de canales por los que circula el agua y se sedimenta la arena añadiendo una zona de extracción de grasas.

### 6.6.2.1. Zonas de la unidad de desarenado - desengrasado

En la unidad existen tres zonas diferenciadas:

- Zona de desengrasado
- Zona de desarenado
- Zona de extracción de arenas

En la zona de desengrasado, un baffle disipa la energía generada por los difusores aireadores, permitiendo el ascenso, sin turbulencias, de grasas desemulsionadas, aceites y otros flotantes adheridos a las microburbujas de aire producidas por los difusores. Un elemento conocido como dispositivo desnatador, engranado en la estructura de un puente grúa, se desplaza continuamente por la zona para retirar las sustancias flotantes que se van acumulando a lo largo del proceso.

La superficie inferior de la zona de desengrasado tiene una pendiente regularmente de 45° que permite que las arenas afectadas por la turbulencia de la aireación, rueden sin perturbaciones hasta el fondo de la unidad en donde se encuentra la zona de extracción de arenas.



**Imagen 6.3** - Desarenador-Desengrasador. Fuente: [www.vlcciadad.com](http://www.vlcciadad.com)

La zona de desarenado contiene el suministro de aire. El suministro de aire se lleva a cabo mediante unos elementos difusores de poro fino. Están situados a una profundidad considerable, en la zona opuesta a la zona de desengrasado. Los difusores provocan un movimiento helicoidal al interior de la unidad y el aire suministrado reduce olores y agiliza la limpieza de las arenas extraídas. En el fondo de la zona de desarenado está situado un tubo extractor de arenas montado sobre un puente grúa que se desplaza de manera pausada por toda la longitud del canal. La función de dicho tubo es la de succionar todo el material decantado.

Una vez han sido extraídas grasas flotantes y arenas, se llevan de manera temporal a un contenedor para que sean recogidos por camiones y llevados al lugar que tengan asignados este tipo de residuos en la localidad en la que está situado el recinto.



**Imagen 6.4** - Desarenador-desengrasador vacío. Fuente: usuarios.arystel.com

#### **6.6.2.2. Parámetros de diseño de una unidad de desarenado-desengrasado**

Este tipo de unidades siguen una serie de criterios de diseño que consisten en la acotación o determinación de los parámetros que influyen el cálculo del dimensionado



para que los equipos lleven a cabo los procesos óptimamente. Estos criterios son los siguientes:

Parámetro	Valor
Carga superficial	40 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h
Tiempo de Retención Hidráulica (TRH)	12 a 16 minutos
Caudal tratado por unidad	0,2 a 0,4 m <sup>3</sup> /s
Velocidad horizontal	0,02 a 0,07 m/s
Relación Longitud/Ancho	3/1 a 10/1
Relación Profundidad/Ancho	1/1 a 3/1
Profundidad	2 a 5 metros
Longitud	7,5 a 25 metros
Ancho	3 a 8 metros
Suministro de aire	0,5 a 2 m <sup>3</sup> /h*m <sup>3</sup> de canal
Profundidad de los difusores	0,5 a 0,9 m respecto del fondo del canal

**Tabla 6.5** – Criterios de diseño de un desarenador-desengrasador.

### 6.6.3.Cálculo del dimensionado de la unidad de desarenado-desengrasado

El dimensionado de dicha unidad viene condicionado por una serie de factores. En primer lugar, la consideración del caudal máximo con el que va a trabajar la estación depuradora y el nº de canales de la unidad. Los parámetros establecidos son los siguientes:

Parámetro	Valor
Caudal máximo	1 m <sup>3</sup> /s
Caudal medio	0,5 m <sup>3</sup> /s
Nº de canales	2 unidades
Caudal máximo / unidad	0,5 m <sup>3</sup> /s o 1800 m <sup>3</sup> /h
Caudal medio / unidad	0,25 m <sup>3</sup> /s
Tiempo de retención hidráulica (TRH)	12 minutos o 720 segundos
Velocidad horizontal (v <sub>h</sub> )	0,04 m/s
Carga superficial (C <sub>s</sub> )	35 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> h
Suministro de aire	1 m <sup>3</sup> /h*m <sup>3</sup> de canal

**Tabla 6.6** – Especificaciones técnicas de la unidad desarenador-desengrasador.

En primer lugar, se calcula el volumen requerido por cada unidad, teniendo el tiempo de retención hidráulica escogido que son 12 minutos o 720 segundos.

$$V = Q_{\text{med/ud}} \cdot \text{TRH} = 0,25 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 720\text{s} = 180\text{m}^3/\text{unidad} \quad (6.6)$$

Se estima el área superficial mediante los parámetros de caudal máximo por unidad y la carga superficial estipulada.

$$A_s = \frac{Q_{\text{máx/ud}}}{C_s} = \frac{1800 \text{ m}^3/\text{h}}{35 \text{ m}^3/\text{h}} = 51,43 \text{ m}^2 \quad (6.7)$$

El área transversal de la unidad se calcula haciendo uso de la velocidad horizontal de flujo estipulada y el valor de caudal máximo por unidad.

$$A_T = \frac{Q_{\text{màx/ud}}}{v_h} = \frac{0,5 \text{ m}^3/\text{s}}{0,04 \text{ m/s}} = 12,5 \text{ m}^2 \quad (6.8)$$

La longitud del canal es la siguiente:

$$L = \frac{V}{A_T} = \frac{180 \text{ m}^3}{12,5 \text{ m}^2} = 14,4 \text{ m} \quad (6.9)$$

La profundidad útil del canal es la siguiente:

$$P = \frac{V}{A_s} = \frac{180 \text{ m}^3}{51,43 \text{ m}^2} = 3,5 \text{ m} \quad (6.10)$$

El ancho de la unidad de desarenado es el siguiente:

$$B = \frac{V}{P} \cdot L = \frac{180 \text{ m}^3}{3,5 \text{ m}} \cdot 14,4 \text{ m} = 3,6 \text{ m} \quad (6.11)$$

Relación Longitud/Ancho:

$$\frac{L}{B} = \frac{14,4 \text{ m}}{3,6 \text{ m}} = 4 \quad (6.12)$$

Relación Profundidad/Ancho:

$$\frac{P}{B} = \frac{3,5 \text{ m}}{3,6 \text{ m}} = 0,981 \quad (6.13)$$

En este tipo de unidades se efectúa tal y como se ha realizado el cálculo de las dimensiones de los canales de desarenado. La zona de desengrasado se añade considerando que su ancho es igual a  $\frac{1}{3}$  del ancho de la zona de desarenado y una profundidad, antes del inicio de la inclinación a  $45^\circ$ , de  $\frac{1}{3}$  de la altura de la zona de desarenado.

El ancho total de la unidad es el siguiente:

$$B_T = B + \frac{1}{3}B = 3,6 \text{ m} + \frac{1}{3} \cdot 3,6 \text{ m} = 4,8 \text{ m} \quad (6.14)$$

La zona de desengrasado, antes del inicio de la rampa de  $45^\circ$ , tendrá una profundidad de:

$$P_{\text{desengrasado}} = \frac{P}{3} = \frac{3,5 \text{ m}}{3} = 1,2 \text{ m} \quad (6.15)$$

El suministro de aire, usando el valor estipulado anteriormente, es de:

$$Q_{\text{aire}} = \text{Suministro} \cdot V = 1 \text{ m}^3/\text{h} \cdot m_{\text{canal}}^3 \cdot 180 \text{ m}^3 = 180 \text{ m}^3/\text{h} \quad (6.16)$$

Obsérvese que todos los parámetros cumplen con los límites de criterio comentados anteriormente.

Las dimensiones y parámetros de la unidad definitivos se resumen en la siguiente tabla:

Parámetro	Valor
Volumen / Unidad	180 m <sup>3</sup>
Unidades	2
Volumen total	360 m <sup>3</sup>
Área superficial / Unidad	51,43 m <sup>2</sup>
Área total / Unidad	12,5 m <sup>2</sup>
Longitud / Unidad	14,4 metros
Profundidad / Unidad	3,5 metros
Ancho / Unidad	3,6 metros
Longitud / Ancho	4
Profundidad / Ancho	1
Ancho total	4,8 metros
Profundidad zona de desengrasado	1,2 metros
Suministro de aire / Unidad	180 m <sup>3</sup> /h
Suministro de aire total	360 m <sup>3</sup> /h

**Tabla 6.7** – Especificaciones técnicas definitivas de la unidad desarenador-desengrasador.

#### 6.6.4. Equipos de la unidad

La unidad cuenta con una serie de elementos que son los que provocan con su trabajo que se produzcan los procesos de flotación de grasas y decantación de arenas. Estos

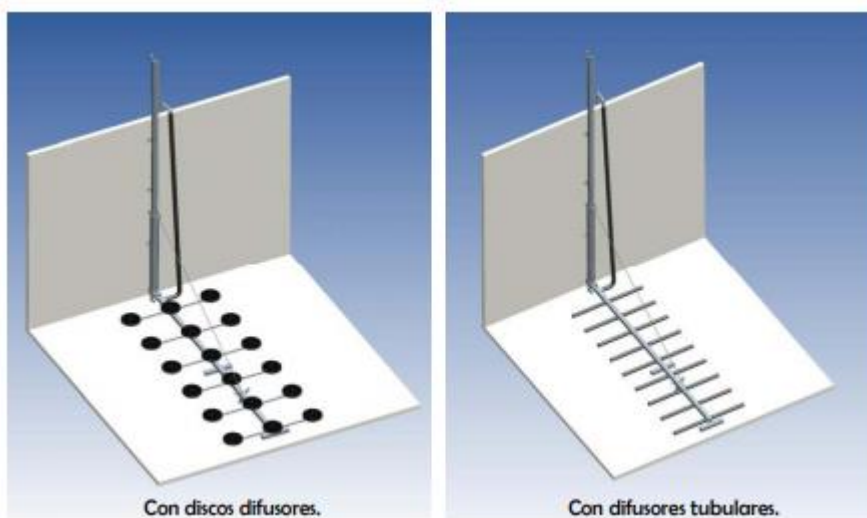
equipos son los difusores de suministro de aire, el puente grúa con desnatador anclado y además el equipo de extracción de arenas.

#### 6.6.4.1. Difusores

La función principal de los difusores es la suministrar aire para disipar olores y optimizar el proceso de extracción de arenas.

En el mercado hay gran variabilidad de diseño de estos elementos. Los escogidos para ubicarlos en la estación depuradora son los de la gama *Parrillas de difusores extraíbles modelo SEC* fabricados por la compañía Ceber.

Este modelo presenta muchas ventajas ya que al ser modulares y extraíbles su limpieza se facilita en gran medida y no es necesario el vaciado de la unidad. Además, cada módulo cuenta con un motor-reductor para extraerlos de forma automática sin necesidad de grúas.



**Imagen 6.5** - Tipos de módulos difusores. Fuente: Catálogo Ceber.

El fabricante ofrece dos alternativas: discos difusores y difusores tubulares. La elección para este caso son módulos de difusores tubulares porque se estima que pueden tener menos riesgo de rotura o daño a la hora de las extracciones.

El sistema cuenta con los siguientes elementos:

- Tubo soporte-conductor de aire para los difusores + lastre
- Mecanismo mecánico de giro
- Guía vertical de elevación
- Manguera flexible para introducción de aire
- Soporte de apoyo nivelable
- Motor-reductor 220 V
- Cable
- Contrapeso

#### 6.6.4.2. Distribución de los módulos de difusores tubulares

Se dimensiona una parrilla-módulo y se añaden las necesarias hasta completar la distribución requerida, así como la cantidad de difusores para el caudal de aire a introducir.

La parrilla-módulo seleccionada cuenta con las siguientes características:

Parámetro	Valor
Nº de tubos	8
Ancho	3 metros
Longitud	2 metros

**Tabla 6.8** – Características del módulo tubular seleccionado.

Las dimensiones y parámetros a tener en cuenta en cada canal son los siguientes:

Parámetro	Valor
Caudal	180 m <sup>3</sup> /h
Ancho	3,6 metros
Longitud	14,4 metros

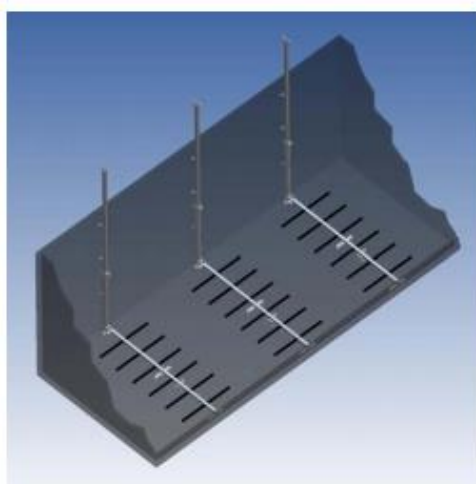
**Tabla 6.9** – Especificaciones de cada canal para dimensionar los módulos tubulares.

Relacionando parámetros de ambas tablas la distribución es la siguiente en cada canal:

Parámetro	Valor
Nº de módulos	7
Caudal / módulo	30 m <sup>3</sup> /h
Caudal / tubo	3,75 m <sup>3</sup> /h

**Tabla 6.10** – Distribución de módulos tubulares en cada canal.

Por lo tanto, en total habrá instalados 14 módulos difusores tubulares en la unidad.



**Imagen 6.6** - Distribución módulos de difusores tubulares a lo largo del canal. Fuente: Catálogo Ceber.



#### 6.6.4.3. Puente Desarenador-Desengrasador

La función de este elemento es la de llevar a cabo la extracción de arena y grasas de la unidad. Son equipos robustos y potentes que contienen una serie de elementos instalados para llevar a cabo la función.

El modelo escogido para el proyecto es el *Puente Desarenador Desengrasador Longitudinal Tipo MR16A* que suministra la empresa DAGA destinado a la extracción de arenas y flotantes en recintos de pretratamiento rectangulares.

Las descripciones y características son las siguientes:

**Conjunto pasarela.** Construido en chapa de acero, tipo cajón (perfil bajo) y con barandilla a ambos lados en acero inoxidable. Entramado metálico galvanizado o de PRFV para paso. Carros motrices solidarios a ambos extremos de la pasarela.

**Grupo Motriz.** Compuesto por un motor-reductor que acciona el eje principal en cuyos extremos van montadas las ruedas motrices. Dichas ruedas, al igual que las conducidas, son totalmente metálicas para poder desplazarse sobre carriles.

**Conjunto de guiado.** Por carriles anclados en el forjado superior, en ambos lados de los muros laterales y en el sentido longitudinal del recinto.

**Sistema de eliminación de grasas.** Consiste en un conjunto de dos rasquetas que en su desplazamiento efectúan el barrido de la zona de grasas desplazándose hacia uno de los extremos del recinto donde son vertidos al interior de una tolva. La disposición de las dos rasquetas permite la eliminación de zonas muertas. Todo el conjunto va suspendido de la pasarela. El accionamiento es de tipo mecánico.

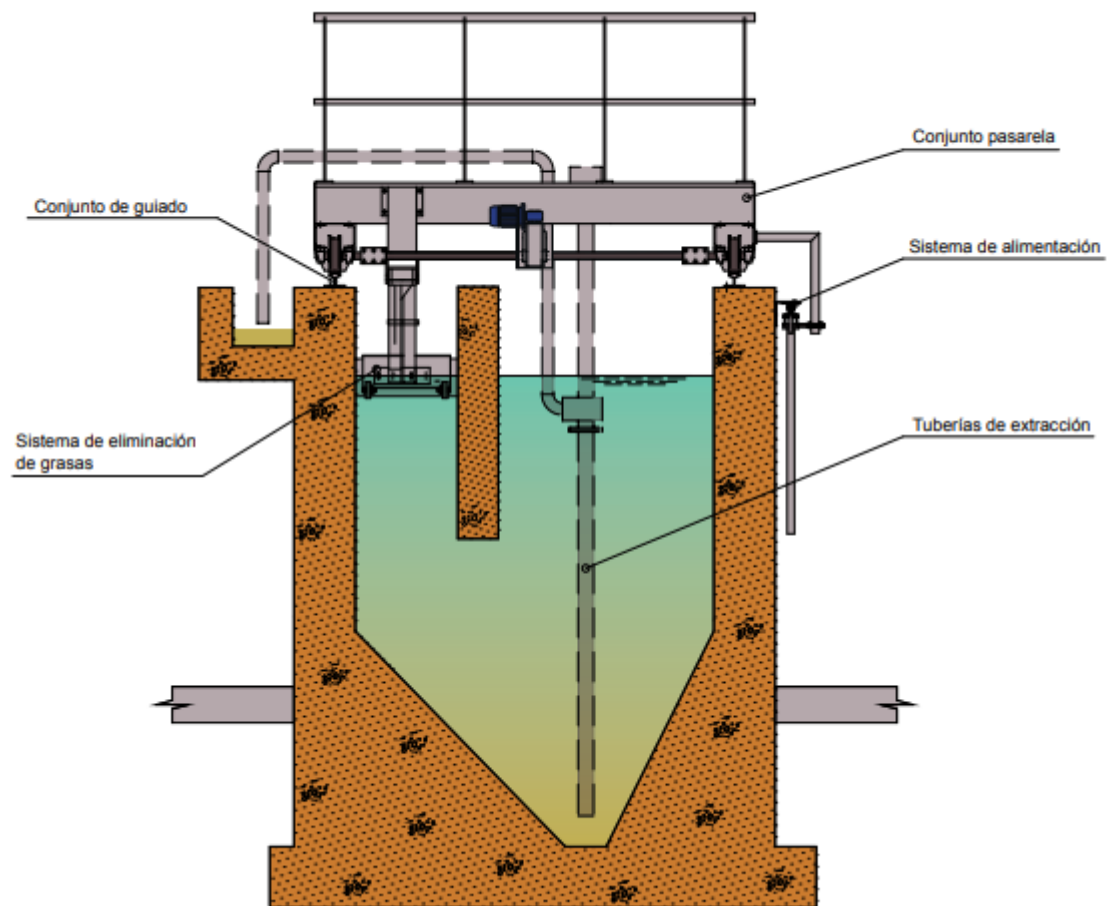
**Grupo motobomba y tuberías de extracción.** Compuesto por una motobomba tipo vertical instalado sobre la pasarela del puente. El tubo se instala verticalmente desde

la parte superior del puente hasta una profundidad cercana al fondo del canal. Su longitud es variable según el tipo de modelo que se escoja.

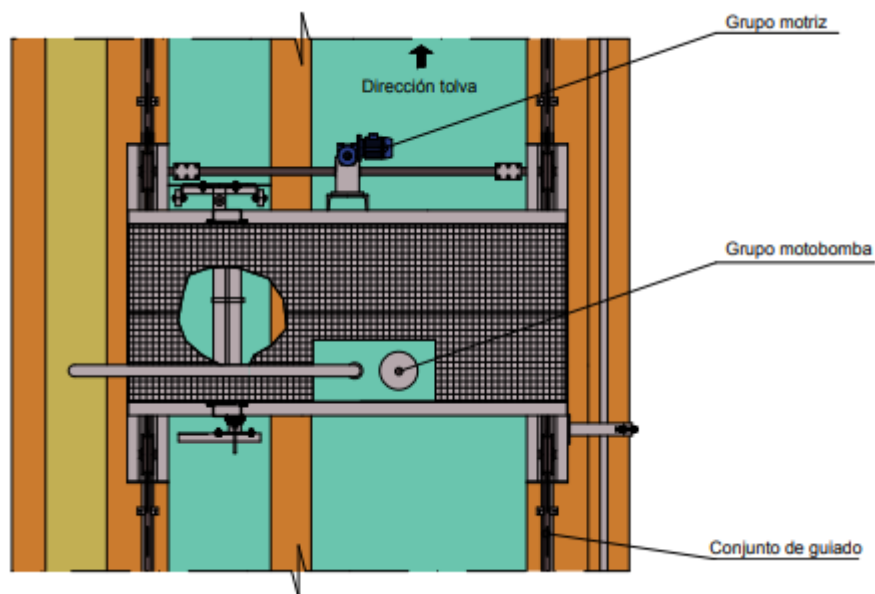
**Sistema de alimentación eléctrica.** Instalación a lo largo del recinto y en un lateral exterior del mismo. Permite la alimentación eléctrica al armario de maniobra, basado en un cable plegable sujeto a unos carritos que se deslizan a lo largo de una guía metálica.

**Equipo de control.** El cuadro eléctrico controla toda la maniobra automática del equipo, con unos finales de carrera inductivos que controlan el movimiento de avance y retroceso del equipo. También acciona la motobomba de extracción de arenas según el sentido de avance del puente.

Las dimensiones del equipo se adecuan a las dimensiones del recinto que se está proyectando. Una vez se va a ejecutar la obra se contacta con el fabricante, se indican las dimensiones y el fabricante aportará la solución óptima.



**Imagen 6.7** - Vista transversal de Puente Desarenador-Desengrasador. Fuente: Catálogo DAGA.



**Imagen 6.8** - Vista en planta de Puente Desarenador-Desengrasador. Fuente: Catálogo DAGA.

## 6.7. Distribución en planta y recinto

### 6.7.1. Distribución

Las instalaciones de la depuradora se construirán inmediatamente a continuación del final de la línea de drenaje, siguiendo la distribución en planta indicada en el Plano 06.

El flujo del agua abandonará la última arqueta y pasará por el canal de desbaste, el canal de desengrasado/desarenado y finalmente se almacenará en el tanque principal de 8000 m<sup>3</sup>.

### **6.7.2. Calle y accesos**

Para facilitar el acceso de camiones para rellenar el tanque o para retirar contenedores de residuos, se proyecta una calle central que además une la calle Camí Fondo de Can Gultet con el camino perimetral del circuito, ofreciendo múltiples opciones de entrada y salida del recinto de la depuradora.

La incorporación a ambas calles se facilitará con un radio de unión suficiente en la intersección.

### **6.7.3. Recinto y superficie**

Para contener todas las construcciones, se proyecta una valla perimetral de 2,5 metros de altura con dos puertas, una en cada acceso.

La depuradora se sitúa en terreno no protegido o controlado, por lo que es necesario encerrar las instalaciones para su protección. Se justifica así, además, la colocación de dos puertas dobles, una para cada acceso, para permitir la entrada al recinto y el cierre del mismo.

El recinto ocupa un área de 12.912 m<sup>2</sup>.

## 7. Almacenamiento

### 7.1. Generalidades

El objetivo de la instalación de almacenamiento es tener agua disponible para ser regada estratégicamente por todo el circuito. La repartición y distribución del agua deben estar correlacionadas con la previsión de carga con la que cuenta cada sector del circuito. Es decir, los depósitos que se van a instalar deben dimensionarse de tal manera que sean capaces de aportar una autonomía amplia a la instalación.

La distribución de los tanques es de 3 depósitos repartidos en zonas estratégicas del recinto. El tanque principal se encuentra a la salida de la depuradora. Es el de mayor capacidad y adquiere el agua depurada justo al salir de la estación depuradora. Su disposición es ir enterrado porque su dimensión es tal que la mejor manera de optimizar el espacio y la instalación es colocarlo de esta manera.

Los otros dos tanques están repartidos por el circuito en dos zonas estratégicas. Cada uno de ellos se encarga de gestionar la autonomía de cada uno de los dos sectores de la distribución de riego. El tanque 1 alimenta el sector 1 de la instalación de riego y su capacidad es menor que la de su homólogo del otro sector ya que la previsión de carga de esta zona es más baja. El tanque 2 alimenta el sector 2 de la instalación de riego con una capacidad mayor al tanque 1 por lo comentado anteriormente.

El sistema está interconectado entre los tres depósitos para tener la posibilidad de poder transportar el agua de un tanque a otro en caso de que se necesite vaciar alguno de estos para realizar procesos de limpieza o cualquier otro evento que se presente. La interconexión se realiza en doble sentido entre los tres depósitos para poder enviar agua y también retornarla.

La instal·lació de los tanques 1 y 2 también es enterrada como el tanque principal. El principal estímulo de realizar la instalación de esta manera es para optimizar el espacio disponible en el circuito y que los depósitos interfieran lo más mínimo con el resto de instalaciones del recinto.

## **7.2. Distribución de los tanques**

Los tres depósitos están distribuidos estratégicamente en diferentes zonas del circuito. El objetivo de dicha distribución es tener cubierta de manera óptima y equilibrada toda la previsión de carga a lo largo del circuito. Los tanques deben ser capaces de aportar una autonomía notable a la instalación en cada una de las zonas.

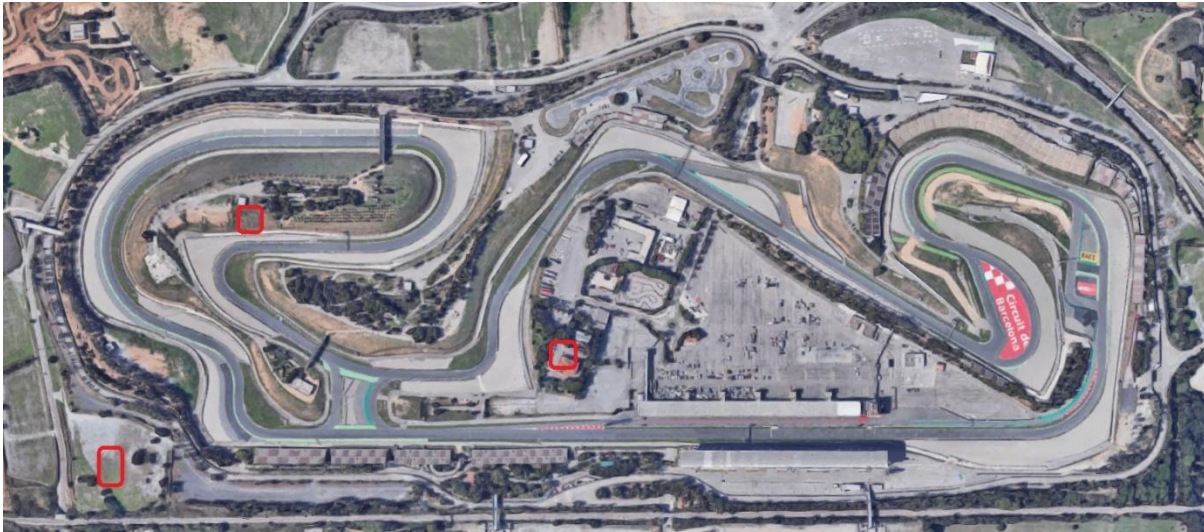
El tanque principal está situado a la salida de la depuradora. La ubicación del depósito de mayor capacidad en esta zona se justifica principalmente porque permite el almacenamiento de agua sin bombeo desde la última fase de la depuración con el correspondiente ahorro energético que eso conlleva. Además, es una zona del recinto con espacio suficiente por lo que se justifica colocar el tanque de mayor dimensión en dicho lugar. El tanque principal va enterrado dos metros respecto a la superficie.

El tanque 1 alimenta el sector 1 del circuito de riego. Está situado en una zona central del sector para que pueda abastecer de manera equitativa todos los aspersores existentes. El depósito está enterrado a una profundidad de 3 metros con respecto a la superficie en ese punto.

El tanque 2 alimenta el sector 2 del circuito de riego. Está situado en un lugar céntrico del sector 2 para poder cumplir con el suministro de la previsión de carga en este sector. De igual manera que su homólogo, está enterrado a una profundidad de 3 metros con respecto a la superficie.

Las tuberías que interconectan todos los depósitos también están enterradas a la misma profundidad que los tanques en cada zona. En el plano adjunto en este proyecto se indicará con exactitud la disposición tanto de tuberías como de tanques.

A continuación, se presenta una vista aérea del circuito en la cual está señalizada la ubicación aproximada de los tres tanques.



**Imagen 7.1** – Distribución de los tanques.

### 7.3. Dimensión de los tanques

Las dimensiones de los tanques dependen de diversos factores que es necesario tenerlos en cuenta ya que el objetivo es que los tanques siempre tengan agua disponible para abastecer la demanda.

En primer lugar, se ha estudiado la cantidad de agua de lluvia disponible a lo largo del periodo de un mes y de un año. Esta cantidad de agua cubre algo más del 50% de la demanda total de la instalación por lo que el resto de agua debe aportarse en un principio de fuentes complementarias.



Se ha estimado que la instal·lació estigui en funcionament durant 16 hores a lo largo de cada mes a un caudal mitjà de 0,2 m<sup>3</sup>/s. Després se ha extrapolat el resultat de esta estimació al període anual. Los dades se recogen en las siguientes tablas.

Estimación mensual	
Tiempo de funcionamiento	16 horas
Caudal total demandado	0,2 m <sup>3</sup> /s
Demanda de agua	11520 m <sup>3</sup>
Agua recuperada	5760 m <sup>3</sup>
Agua de lluvia disponible	3212 m <sup>3</sup>
Cobertura del agua de lluvia	55,77%

**Tabla 7.1** – Estimación de la cantidad disponible y cobertura mensual de agua.

Estimación anual	
Tiempo de funcionamiento	192 horas
Caudal total demandado	0,2 m <sup>3</sup> /s
Demanda de agua	138240 m <sup>3</sup>
Agua recuperada	69120 m <sup>3</sup>
Agua de lluvia disponible	38545 m <sup>3</sup>
Cobertura del agua de lluvia	55,77%

**Tabla 7.2** – Estimación de la cantidad disponible y cobertura anual de agua.

Después de realizar el estudio se establecen las dimensiones de los tres tanques basándose en los recursos naturales a partir del agua de lluvia que se tiene disponible a lo largo del año y del agua que hay que aportar externamente.

Las dimensiones de cada depósito se especifican en las siguientes tablas.

<b>Tanque principal</b>	
Capacidad	8000 m <sup>3</sup>
Longitud	40 metros
Amplitud	40 metros
Profundidad	5 metros

**Tabla 7.3** – Dimensiones del tanque principal.

<b>Tanque 1</b>	
Capacidad	2000 m <sup>3</sup>
Longitud	20 metros
Amplitud	20 metros
Profundidad	5 metros

**Tabla 7.4** – Dimensiones del tanque 1.

Tanque 2	
Capacidad	4500 m <sup>3</sup>
Longitud	30 metros
Amplitud	30 metros
Profundidad	5 metros

**Tabla 7.5** – Dimensiones del tanque 2.

Los cálculos en los cuales se basa el dimensionado de estos tanques se especifican en el apartado *7.4 Previsión de autonomía*.

## 7.4. Previsión de autonomía

La autonomía de los tanques depende principalmente del caudal que se elija usar. Otros factores influyentes son el régimen de trabajo (explicado a continuación) y el volumen inicial con que se inicie el evento de riego.

Además, se consideran dos modos de empleo: con recuperación o sin recuperación.

**Modo con recuperación:** si se trabaja bajo régimen de recuperación, durante el evento de riego se transferirá agua desde el tanque principal a los tanques 1 y/o 2 simultáneamente mientras se riega. El caudal de recuperación se asume del 50% del caudal de riego y únicamente tras 1h del inicio del evento de riego (debido a la circulación de retorno por los conductos de drenaje y el tiempo invertido en depurar).

**Modo sin recuperación:** se utilizará únicamente el volumen de agua disponible en los tanques de riego (1 y 2), y es el que limitará la autonomía.

### 7.4.1. Criterios de cálculo

Los caudales de uso se limitan entre el 10 y 100% del caudal máximo aportado por los equipos de bombeo.

En el caso de recuperación, el caudal recuperado se considera accesible después de la primera hora de regado. No se considera que, además del caudal de recuperación enviado desde la depuradora, se distribuya agua desde un tanque a otro durante el regado.

Para los siguientes apartados, se asume que el evento de riego se inicia con los tanques llenos, y el principal (situado en la depuradora), vacío.

### 7.4.2. Autonomía del tanque 1

% caudal	Caudal (L/s)	Auto. con rec. (h)	Auto. sin rec. (h)
1	5,38	742,03	371,51
2	10,77	370,51	185,76
3	16,15	246,68	123,84
4	21,53	184,76	92,88
5	26,92	147,61	74,30
6	32,30	122,84	61,92
7	37,68	105,15	53,07
8	43,07	91,88	46,44
9	48,45	81,56	41,28
10	53,83	73,30	37,15
11	59,22	66,55	33,77
12	64,60	60,92	30,96
13	69,98	56,16	28,58
14	75,37	52,07	26,54
15	80,75	48,54	24,77
16	86,13	45,44	23,22

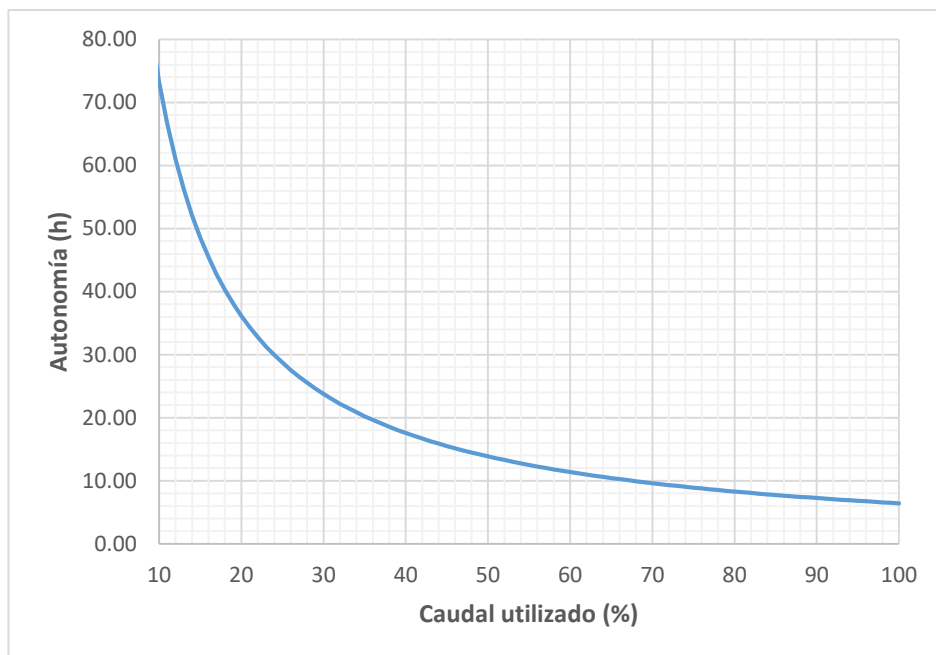
<b>% caudal</b>	<b>Caudal (L/s)</b>	<b>Auto. con rec. (h)</b>	<b>Auto. sin rec. (h)</b>
<b>17</b>	91,52	42,71	21,85
<b>18</b>	96,90	40,28	20,64
<b>19</b>	102,28	38,11	19,55
<b>20</b>	107,67	36,15	18,58
<b>21</b>	113,05	34,38	17,69
<b>22</b>	118,43	32,77	16,89
<b>23</b>	123,82	31,31	16,15
<b>24</b>	129,20	29,96	15,48
<b>25</b>	134,58	28,72	14,86
<b>26</b>	139,97	27,58	14,29
<b>27</b>	145,35	26,52	13,76
<b>28</b>	150,73	25,54	13,27
<b>29</b>	156,12	24,62	12,81
<b>30</b>	161,50	23,77	12,38
<b>31</b>	166,88	22,97	11,98
<b>32</b>	172,27	22,22	11,61
<b>33</b>	177,65	21,52	11,26
<b>34</b>	183,04	20,85	10,93
<b>35</b>	188,42	20,23	10,61
<b>36</b>	193,80	19,64	10,32
<b>37</b>	199,19	19,08	10,04
<b>38</b>	204,57	18,55	9,78
<b>39</b>	209,95	18,05	9,53
<b>40</b>	215,34	17,58	9,29
<b>41</b>	220,72	17,12	9,06
<b>42</b>	226,10	16,69	8,85
<b>43</b>	231,49	16,28	8,64
<b>44</b>	236,87	15,89	8,44
<b>45</b>	242,25	15,51	8,26
<b>46</b>	247,64	15,15	8,08
<b>47</b>	253,02	14,81	7,90

<b>% caudal</b>	<b>Caudal (L/s)</b>	<b>Auto. con rec. (h)</b>	<b>Auto. sin rec. (h)</b>
<b>48</b>	258,40	14,48	7,74
<b>49</b>	263,79	14,16	7,58
<b>50</b>	269,17	13,86	7,43
<b>51</b>	274,55	13,57	7,28
<b>52</b>	279,94	13,29	7,14
<b>53</b>	285,32	13,02	7,01
<b>54</b>	290,70	12,76	6,88
<b>55</b>	296,09	12,51	6,75
<b>56</b>	301,47	12,27	6,63
<b>57</b>	306,85	12,04	6,52
<b>58</b>	312,24	11,81	6,41
<b>59</b>	317,62	11,59	6,30
<b>60</b>	323,00	11,38	6,19
<b>61</b>	328,39	11,18	6,09
<b>62</b>	333,77	10,98	5,99
<b>63</b>	339,15	10,79	5,90
<b>64</b>	344,54	10,61	5,80
<b>65</b>	349,92	10,43	5,72
<b>66</b>	355,30	10,26	5,63
<b>67</b>	360,69	10,09	5,54
<b>68</b>	366,07	9,93	5,46
<b>69</b>	371,45	9,77	5,38
<b>70</b>	376,84	9,61	5,31
<b>71</b>	382,22	9,47	5,23
<b>72</b>	387,60	9,32	5,16
<b>73</b>	392,99	9,18	5,09
<b>74</b>	398,37	9,04	5,02
<b>75</b>	403,75	8,91	4,95
<b>76</b>	409,14	8,78	4,89
<b>77</b>	414,52	8,65	4,82
<b>78</b>	419,90	8,53	4,76

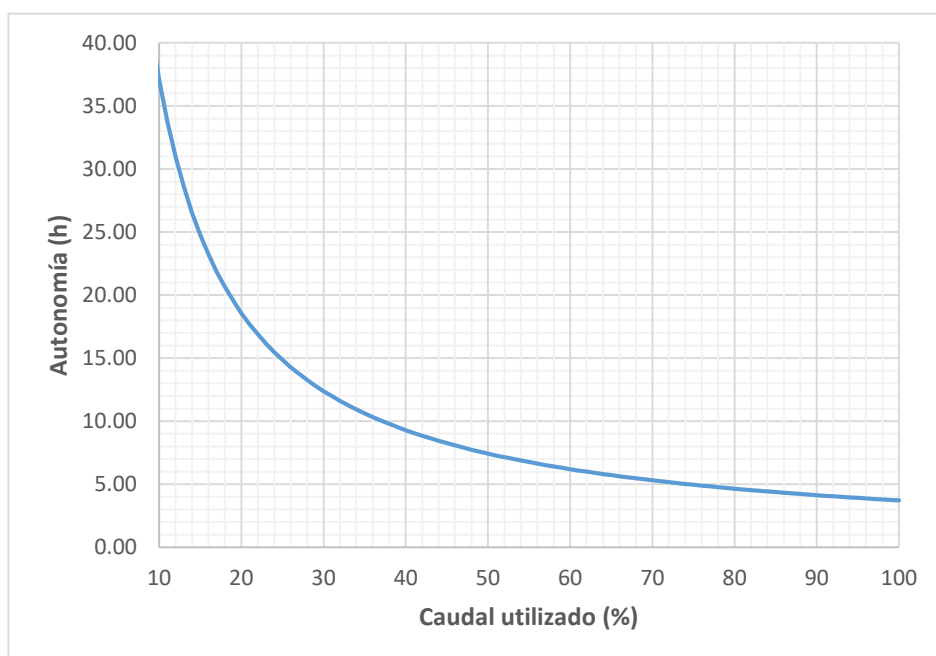
% caudal	Caudal (L/s)	Auto. con rec. (h)	Auto. sin rec. (h)
79	425,29	8,41	4,70
80	430,67	8,29	4,64
81	436,05	8,17	4,59
82	441,44	8,06	4,53
83	446,82	7,95	4,48
84	452,20	7,85	4,42
85	457,59	7,74	4,37
86	462,97	7,64	4,32
87	468,35	7,54	4,27
88	473,74	7,44	4,22
89	479,12	7,35	4,17
90	484,50	7,26	4,13
91	489,89	7,17	4,08
92	495,27	7,08	4,04
93	500,65	6,99	3,99
94	506,04	6,90	3,95
95	511,42	6,82	3,91
96	516,80	6,74	3,87
97	522,19	6,66	3,83
98	527,57	6,58	3,79
99	532,96	6,51	3,75
100	538,34	6,43	3,72

**Tabla 7.6** – Autonomía del tanque 1.

A continuació, se mostren els gràfics per a la taula anterior:



**Gráfico 7.1** – Autonomía del tanque 1 con recuperación.



**Gráfico 7.2** – Autonomía del tanque 1 sin recuperación.



### 7.4.3. Autonomía del tanque 2

% caudal	Caudal (L/s)	Auto. con rec. (h)	Auto. sin rec. (h)
1	12,11	742,03	371,51
2	24,23	370,51	185,76
3	36,34	246,68	123,84
4	48,45	184,76	92,88
5	60,56	147,61	74,30
6	72,68	122,84	61,92
7	84,79	105,15	53,07
8	96,90	91,88	46,44
9	109,01	81,56	41,28
10	121,13	73,30	37,15
11	133,24	66,55	33,77
12	145,35	60,92	30,96
13	157,46	56,16	28,58
14	169,58	52,07	26,54
15	181,69	48,54	24,77
16	193,80	45,44	23,22
17	205,91	42,71	21,85
18	218,03	40,28	20,64
19	230,14	38,11	19,55
20	242,25	36,15	18,58
21	254,36	34,38	17,69
22	266,48	32,77	16,89
23	278,59	31,31	16,15
24	290,70	29,96	15,48
25	302,82	28,72	14,86
26	314,93	27,58	14,29
27	327,04	26,52	13,76
28	339,15	25,54	13,27
29	351,27	24,62	12,81

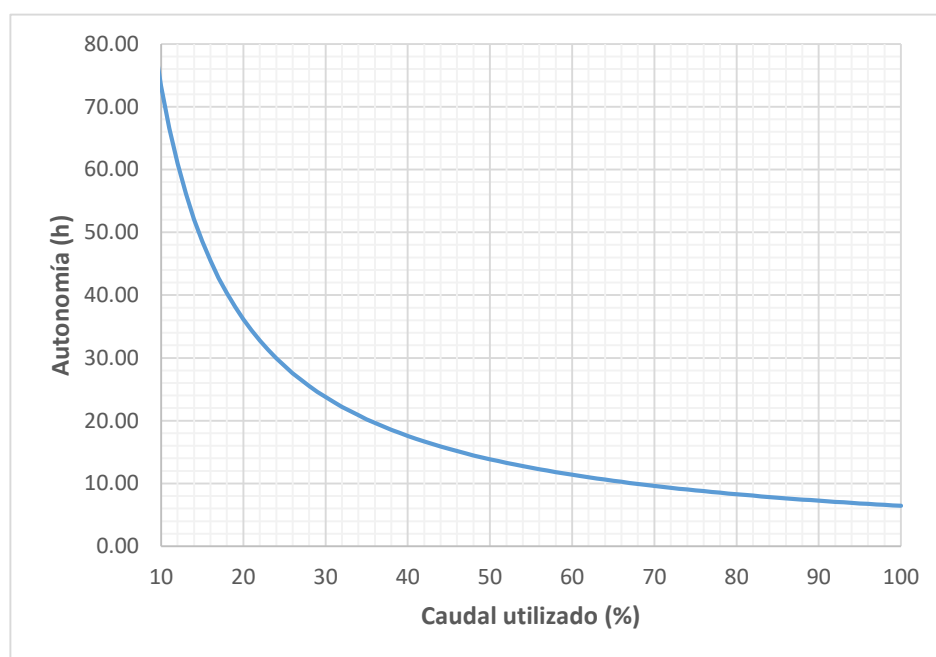
<b>% caudal</b>	<b>Caudal (L/s)</b>	<b>Auto. con rec. (h)</b>	<b>Auto. sin rec. (h)</b>
<b>30</b>	363,38	23,77	12,38
<b>31</b>	375,49	22,97	11,98
<b>32</b>	387,60	22,22	11,61
<b>33</b>	399,72	21,52	11,26
<b>34</b>	411,83	20,85	10,93
<b>35</b>	423,94	20,23	10,61
<b>36</b>	436,05	19,64	10,32
<b>37</b>	448,17	19,08	10,04
<b>38</b>	460,28	18,55	9,78
<b>39</b>	472,39	18,05	9,53
<b>40</b>	484,50	17,58	9,29
<b>41</b>	496,62	17,12	9,06
<b>42</b>	508,73	16,69	8,85
<b>43</b>	520,84	16,28	8,64
<b>44</b>	532,96	15,89	8,44
<b>45</b>	545,07	15,51	8,26
<b>46</b>	557,18	15,15	8,08
<b>47</b>	569,29	14,81	7,90
<b>48</b>	581,41	14,48	7,74
<b>49</b>	593,52	14,16	7,58
<b>50</b>	605,63	13,86	7,43
<b>51</b>	617,74	13,57	7,28
<b>52</b>	629,86	13,29	7,14
<b>53</b>	641,97	13,02	7,01
<b>54</b>	654,08	12,76	6,88
<b>55</b>	666,19	12,51	6,75
<b>56</b>	678,31	12,27	6,63
<b>57</b>	690,42	12,04	6,52
<b>58</b>	702,53	11,81	6,41
<b>59</b>	714,64	11,59	6,30
<b>60</b>	726,76	11,38	6,19

<b>% caudal</b>	<b>Caudal (L/s)</b>	<b>Auto. con rec. (h)</b>	<b>Auto. sin rec. (h)</b>
<b>61</b>	738,87	11,18	6,09
<b>62</b>	750,98	10,98	5,99
<b>63</b>	763,09	10,79	5,90
<b>64</b>	775,21	10,61	5,80
<b>65</b>	787,32	10,43	5,72
<b>66</b>	799,43	10,26	5,63
<b>67</b>	811,55	10,09	5,54
<b>68</b>	823,66	9,93	5,46
<b>69</b>	835,77	9,77	5,38
<b>70</b>	847,88	9,61	5,31
<b>71</b>	860,00	9,47	5,23
<b>72</b>	872,11	9,32	5,16
<b>73</b>	884,22	9,18	5,09
<b>74</b>	896,33	9,04	5,02
<b>75</b>	908,45	8,91	4,95
<b>76</b>	920,56	8,78	4,89
<b>77</b>	932,67	8,65	4,82
<b>78</b>	944,78	8,53	4,76
<b>79</b>	956,90	8,41	4,70
<b>80</b>	969,01	8,29	4,64
<b>81</b>	981,12	8,17	4,59
<b>82</b>	993,23	8,06	4,53
<b>83</b>	1005,35	7,95	4,48
<b>84</b>	1017,46	7,85	4,42
<b>85</b>	1029,57	7,74	4,37
<b>86</b>	1041,68	7,64	4,32
<b>87</b>	1053,80	7,54	4,27
<b>88</b>	1065,91	7,44	4,22
<b>89</b>	1078,02	7,35	4,17
<b>90</b>	1090,14	7,26	4,13
<b>91</b>	1102,25	7,17	4,08

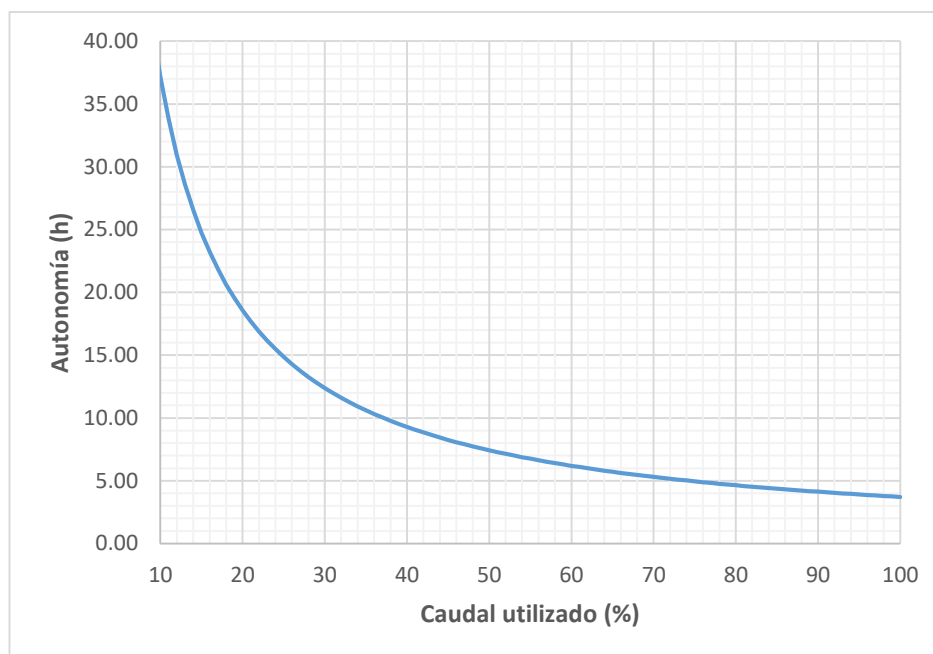
% caudal	Caudal (L/s)	Auto. con rec. (h)	Auto. sin rec. (h)
<b>92</b>	1114,36	7,08	4,04
<b>93</b>	1126,47	6,99	3,99
<b>94</b>	1138,59	6,90	3,95
<b>95</b>	1150,70	6,82	3,91
<b>96</b>	1162,81	6,74	3,87
<b>97</b>	1174,92	6,66	3,83
<b>98</b>	1187,04	6,58	3,79
<b>99</b>	1199,15	6,51	3,75
<b>100</b>	1211,26	6,43	3,72

**Tabla 7.7** – Autonomía del tanque 2.

A continuación, se muestran los gráficos para la tabla anterior:



**Gráfico 7.3** – Autonomía del tanque 2 con recuperación.



**Gráfico 7.4** – Autonomía del tanque 2 sin recuperación.

#### 7.4.4. Autonomía del tanque principal

Se considera que el tanque principal siempre cuenta con recuperación, puesto que el proceso de depuración es pasivo.

% caudal	Caudal (L/s)	Autonomía (h)
1	17,49	913,49
2	34,99	456,25
3	52,49	303,83
4	69,98	227,62
5	87,48	181,90
6	104,98	151,42
7	122,47	129,64
8	139,97	113,31
9	157,46	100,61
10	174,96	90,45

<b>% caudal</b>	<b>Caudal (L/s)</b>	<b>Autonomía (h)</b>
<b>11</b>	192,46	82,14
<b>12</b>	209,952	75,21
<b>13</b>	227,448	69,35
<b>14</b>	244,944	64,32
<b>15</b>	262,44	59,97
<b>16</b>	279,936	56,16
<b>17</b>	297,432	52,79
<b>18</b>	314,928	49,81
<b>19</b>	332,424	47,13
<b>20</b>	349,92	44,72
<b>21</b>	367,416	42,55
<b>22</b>	384,912	40,57
<b>23</b>	402,408	38,76
<b>24</b>	419,904	37,10
<b>25</b>	437,4	35,58
<b>26</b>	454,896	34,17
<b>27</b>	472,392	32,87
<b>28</b>	489,888	31,66
<b>29</b>	507,384	30,53
<b>30</b>	524,88	29,48
<b>31</b>	542,376	28,50
<b>32</b>	559,872	27,58
<b>33</b>	577,368	26,71
<b>34</b>	594,864	25,90
<b>35</b>	612,36	25,13
<b>36</b>	629,856	24,40
<b>37</b>	647,352	23,72
<b>38</b>	664,848	23,07
<b>39</b>	682,344	22,45
<b>40</b>	699,84	21,86
<b>41</b>	717,336	21,30

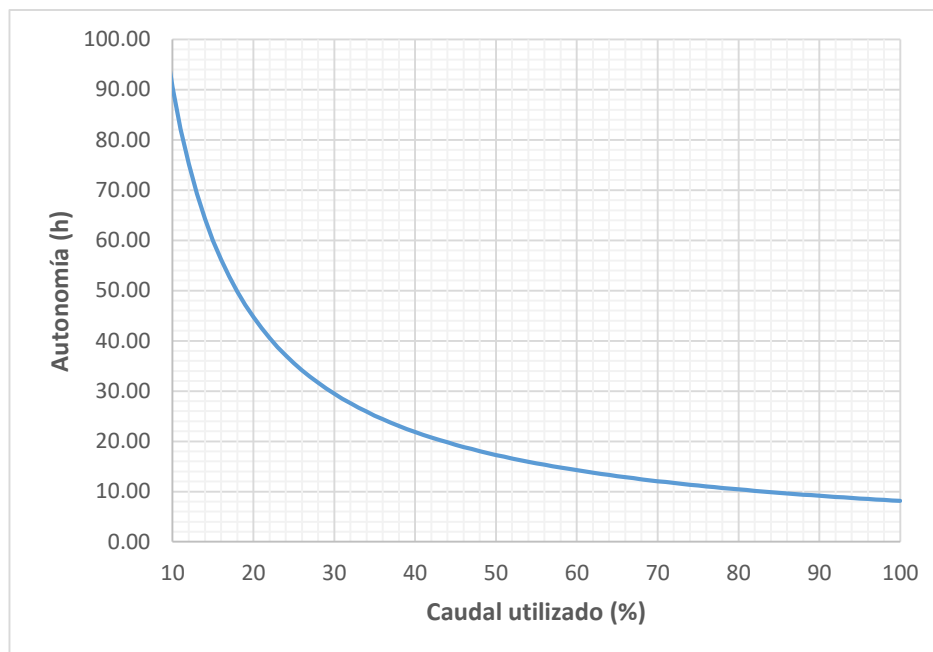
<b>% caudal</b>	<b>Caudal (L/s)</b>	<b>Autonomía (h)</b>
<b>42</b>	734,832	20,77
<b>43</b>	752,328	20,27
<b>44</b>	769,824	19,78
<b>45</b>	787,32	19,32
<b>46</b>	804,816	18,88
<b>47</b>	822,312	18,46
<b>48</b>	839,808	18,05
<b>49</b>	857,304	17,66
<b>50</b>	874,8	17,29
<b>51</b>	892,296	16,93
<b>52</b>	909,792	16,59
<b>53</b>	927,288	16,25
<b>54</b>	944,784	15,94
<b>55</b>	962,28	15,63
<b>56</b>	979,776	15,33
<b>57</b>	997,272	15,04
<b>58</b>	1014,768	14,77
<b>59</b>	1032,264	14,50
<b>60</b>	1049,76	14,24
<b>61</b>	1067,256	13,99
<b>62</b>	1084,752	13,75
<b>63</b>	1102,248	13,52
<b>64</b>	1119,744	13,29
<b>65</b>	1137,24	13,07
<b>66</b>	1154,736	12,86
<b>67</b>	1172,232	12,65
<b>68</b>	1189,728	12,45
<b>69</b>	1207,224	12,25
<b>70</b>	1224,72	12,06
<b>71</b>	1242,216	11,88
<b>72</b>	1259,712	11,70

<b>% caudal</b>	<b>Caudal (L/s)</b>	<b>Autonomía (h)</b>
<b>73</b>	1277,208	11,53
<b>74</b>	1294,704	11,36
<b>75</b>	1312,2	11,19
<b>76</b>	1329,696	11,03
<b>77</b>	1347,192	10,88
<b>78</b>	1364,688	10,72
<b>79</b>	1382,184	10,58
<b>80</b>	1399,68	10,43
<b>81</b>	1417,176	10,29
<b>82</b>	1434,672	10,15
<b>83</b>	1452,168	10,02
<b>84</b>	1469,664	9,89
<b>85</b>	1487,16	9,76
<b>86</b>	1504,656	9,63
<b>87</b>	1522,152	9,51
<b>88</b>	1539,648	9,39
<b>89</b>	1557,144	9,28
<b>90</b>	1574,64	9,16
<b>91</b>	1592,136	9,05
<b>92</b>	1609,632	8,94
<b>93</b>	1627,128	8,83
<b>94</b>	1644,624	8,73
<b>95</b>	1662,12	8,63
<b>96</b>	1679,616	8,53
<b>97</b>	1697,112	8,43
<b>98</b>	1714,608	8,33
<b>99</b>	1732,104	8,24
<b>100</b>	1749,6	8,14

**Tabla 7.8** – Autonomía del tanque principal.



A continuació, se mostren el gràfic per la taula anterior:



**Gráfico 7.5** – Autonomía del tanque principal (siempre con recuperación).

### 7.4.5. Interpretación

La autonomía de los tanques pequeños (1 y 2) es idéntica cuando ambos están llenos y trabajan al mismo caudal. Esto se debe a la proporción de sus tamaños. Esta autonomía es de 6,4h en régimen de recuperación y 3,7h sin recuperación para caudal máximo.

Estos valores no contemplan la acción del tanque principal más allá de redirigir el caudal aportado por la depuradora. Si se parte con el tanque principal con un volumen de agua almacenado, y se trabaja con recuperación, la autonomía puede ser mucho mayor, dependiendo de los caudales empleados.

## 8. Portabilidad del proyecto

### 8.1. Introducción

El objetivo del estudio de portabilidad es la extrapolación del presupuesto a otras circunstancias en las que se desee llevar una instalación similar a cabo. Concretamente, las variables que se modificarán serán la longitud del circuito y la latitud en que se encuentra el circuito.

Nótese que este estudio toma como base únicamente la instalación diseñada en el presente proyecto, y carece de datos reales de más instalaciones. Esto lleva a considerar que este estudio es aproximado, y debe usarse exclusivamente para obtener un valor orientativo del presupuesto estimado para otras longitudes y latitudes.

El resultado se expondrá en una tabla de fácil comprensión y simplificado en un coste de euros por metro (€/m) para diferentes rangos de latitud.

### 8.2. Variables

Las variables son la longitud y la latitud, y cada una tiene influencia en distintos valores de los cálculos.

#### 8.2.1. Longitud

La longitud simboliza el tamaño del circuito. También es importante la forma del circuito, pero es un aspecto mucho más difícil de concretar en una variable.

Esta variable será la responsable de modificar el coste de las instalaciones según el tamaño del circuito (puesto que la mayoría de ellas dependen directamente de la longitud). En otras palabras, la longitud modificará valores como metros de tubo utilizados, caudales previstos de riego, etc.

### **8.2.2. Latitud**

La latitud simboliza las propiedades meteorológicas y climáticas del área donde se llevará a cabo la instalación. Esta variable modificará los valores que dependan de la temperatura, como por ejemplo el ratio de evaporación del agua al caer sobre el suelo y por tanto el rendimiento de recuperación de agua.

Cabe destacar que el volumen de precipitaciones no afecta al coste de las instalaciones, sino a los costes variables por adquisición de agua una vez se inicien las actividades normales del circuito. Más agua recogida implica más ahorro en su compra.

La variable utilizada en los cálculos del Circuit de Barcelona-Catalunya, como se mostró en los apartados de diseño, es la acumulación máxima de lluvia por hora, que es un valor similar para la mayoría de lugares.

## **8.3. Cálculo**

Para proceder con el cálculo del presupuesto estimado, es necesario concretar una serie de valores necesarios. Después, se calculará la contribución de las variables (longitud y latitud) en el coste de las diferentes instalaciones consideradas.

### 8.3.1. Criterios de cálculo

Se obtendrá un valor en €/m del presupuesto para intervalos de 5° de latitud. Descartando zonas polares y poco habitadas, el estudio se realizará sobre un abanico de latitudes comprendido entre 65°N y 45°S. Dicho rango de estudio se muestra en la siguiente tabla, junto con una ciudad ejemplo para cada intervalo.

	Intervalo	Ciudad ejemplo
<b>N</b>	65 - 60	Reykjavík
	60 - 55	Edimburgo
	55 - 50	Berlín
	50 - 45	París
	<b>45 - 40</b>	<b>Barcelona</b>
	40 - 35	Washington
	35 - 30	Atlanta
	30 - 25	Nueva Delhi
	25 - 20	Hong Kong
	20 - 15	Ciudad de México
	15 - 10	Bangkok
	10 - 5	Ciudad de Panamá
	5 - 0	Singapur
<b>S</b>	0 - 5	Nairobi
	5 - 10	Jakarta
	10 - 15	Salvador de Bahía
	15 - 20	La Paz

<b>S</b>	20 - 25	São Paulo
	25 - 30	Johannesburgo
	30 - 35	Sydney
	35 - 40	Melbourne
	<b>40 - 45</b>	<b>Wellington</b>

**Tabla 8.1** – Intervalos de cálculo y ciudades representativas.

Se muestra, resaltada, la ciudad de Barcelona (centro del estudio), así como Wellington, aproximadamente equivalente según su latitud.

### 8.3.2. Proporción área/longitud

Puesto que en un circuito las zonas más protegidas de inundaciones son la pista y alrededores, se establecerá la proporción entre el área de drenaje y la longitud del circuito, de modo que pueda estimarse el área de drenaje para circuitos de cualquier longitud.

Las escapatorias y alrededores dependen directamente de la pista, puesto que se sitúan de forma contigua. El tipo de relación será lineal.

$$R = \frac{A}{L} \quad (8.1)$$

Además, es necesario diferenciar entre áreas pavimentadas y áreas sin pavimentar, ya que sus coeficientes de recuperación son distintos. Para determinarlas, se tomará como base la proporción de áreas pavimentadas y áreas sin pavimentar del Circuit de Barcelona-Catalunya, puesto que se considera equilibrada. Esto resultará en dos constantes de proporcionalidad, una para cada tipo de suelo.

$$R_{\text{pav}} = \frac{A_{\text{pav}}}{L} = \frac{115.243 \text{ m}^2}{4.650 \text{ m}} = 24,78 \text{ m}^2/\text{m} \quad (8.2)$$

$$R_{\text{no pav}} = \frac{A_{\text{no pav}}}{L} = \frac{186.748 \text{ m}^2}{4.650 \text{ m}} = 40,16 \text{ m}^2/\text{m} \quad (8.3)$$

### 8.3.3. Caudal máximo

De igual forma que se calculó el caudal máximo en el apartado 5.4, se hace lo mismo para cada uno de los intervalos de latitud. La expresión es la siguiente:

$$Q_{\text{máx}} = Q_{\text{llovía}} \cdot (R_{\text{end}_{\text{pav}}} \cdot A_{\text{pav}} + R_{\text{end}_{\text{no pav}}} \cdot A_{\text{no pav}}) \quad (8.4)$$

En este caso, se introducirán las relaciones calculadas en el apartado anterior, y la expresión dependerá de la longitud.

$$Q_{\text{máx}} = Q_{\text{llovía}} \cdot L \cdot (R_{\text{end}_{\text{pav}}} \cdot R_{\text{pav}} + R_{\text{end}_{\text{no pav}}} \cdot R_{\text{no pav}}) \quad (8.5)$$

En la anterior expresión, los valores  $R_{\text{end}_{\text{pav}}}$  y  $R_{\text{end}_{\text{no pav}}}$  están afectados por la latitud. A mayor latitud, menor temperatura y menor evaporación del agua, por lo que se incrementan los rendimientos de recuperación. Para el Circuit de Barcelona-Catalunya se tomaron valores de 0,6 y 0,2, respectivamente. Para los demás, se modificarán los valores de  $R_{\text{end}_{\text{pav}}}$  un 0,02 por intervalo, y los valores de  $R_{\text{end}_{\text{no pav}}}$  en 0,01 por intervalo.

Con esta consideración, y tomando como  $Q_{\text{llovía}} = 35 \text{ L/m}^2 \cdot \text{h}$  (ligeramente superior al valor de Montmeló), se puede calcular el valor estimado de caudal máximo por metro de circuito.

	Intervalo	Ciudad ejemplo	Rend <sub>pav</sub>	Rend <sub>no pav</sub>	Q <sub>máx</sub> (m <sup>3</sup> /s·m)
<b>N</b>	65 - 60	Reykjavík	0,68	0,24	0,0002576
	60 - 55	Edimburgo	0,66	0,23	0,0002488
	55 - 50	Berlín	0,64	0,22	0,0002401
	50 - 45	París	0,62	0,21	0,0002314
	<b>45 - 40</b>	<b>Barcelona</b>	<b>0,6</b>	<b>0,2</b>	<b>0,0002227</b>
	40 - 35	Washington	0,58	0,19	0,0002139
	35 - 30	Atlanta	0,56	0,18	0,0002052
	30 - 25	Nueva Delhi	0,54	0,17	0,0001965
	25 - 20	Hong Kong	0,52	0,16	0,0001878
	20 - 15	Ciudad de México	0,5	0,15	0,0001790
	15 - 10	Bangkok	0,48	0,14	0,0001703
	10 - 5	Ciudad de Panamá	0,46	0,13	0,0001616
	5 - 0	Singapur	0,44	0,12	0,0001529
<b>S</b>	0 - 5	Nairobi	0,44	0,12	0,0001529
	5 - 10	Jakarta	0,46	0,13	0,0001616
	10 - 15	Salvador de Bahía	0,48	0,14	0,0001703
	15 - 20	La Paz	0,5	0,15	0,0001790
	20 - 25	São Paulo	0,52	0,16	0,0001878
	25 - 30	Johannesburgo	0,54	0,17	0,0001965
	30 - 35	Sydney	0,56	0,18	0,0002052
	35 - 40	Melbourne	0,58	0,19	0,0002139
	<b>40 - 45</b>	<b>Wellington</b>	<b>0,6</b>	<b>0,2</b>	<b>0,0002227</b>

**Tabla 8.2** – Rendimientos de recuperación y caudal máximo en función de la longitud para todos los intervalos de cálculo.

Se puede observar que en latitudes mayores el caudal máximo es mayor. Sin embargo, este caudal no depende de la frecuencia de precipitación (valor típicamente alto en latitudes altas), sino de la influencia de la temperatura en los coeficientes aproximados de recuperación.

El valor  $Q_{\text{máx}}$ , como se explicó anteriormente, depende de la longitud del circuito, que es la variable base para el cálculo de las áreas de drenaje utilizadas en el cálculo de  $Q_{\text{máx}}$ .

### 8.3.4. Instalación de riego

La instalación de riego incluye la red de tubos, aspersores y equipos de impulsión. Según el Presupuesto, le corresponde un coste de 1.363.588,02€.

Esta instalación depende directamente de la longitud del circuito, sin influencia climática. A mayor longitud, más metros de tubos. También, a mayor superficie de circuito, mayor número de tanques para mantener una distribución uniforme. Si este es el caso, el tamaño de los tubos será similar a los del Circuit de Barcelona-Catalunya, por lo que se asimila el precio por metro.

El tipo de relación será lineal, ya que los metros de tubo son directamente proporcionales a la longitud del circuito en la mayoría de su extensión. Por tanto:

$$C_{\text{riego}} = \frac{C_{\text{riego Barcelona}}}{L_{\text{Barcelona}}} \cdot L \quad (8.6)$$

La relación  $C_{\text{riego Barcelona}} / L_{\text{Barcelona}}$  es constante y su valor es 293,24 €/m.



### 8.3.5. Instalación de drenaje

La instalación de drenaje incluye la red de tubos de drenaje que reconduce el agua a la depuradora. Según el Presupuesto, le corresponde un coste de 431.558,21€.

Esta instalación depende tanto de la longitud del circuito como de la latitud. Por una parte, la longitud del circuito determina los metros de tubo necesarios, mientras que la latitud determina el tamaño de éstos (por el caudal máximo).

#### 8.3.5.1. Metros de tubo

Se establece una relación lineal entre longitud de circuito y metros de tubo. Este valor es muy dependiente de la forma del circuito y la colocación de la depuradora, pero se tomarán igualmente los valores base del Circuit de Barcelona-Catalunya.

Como parámetros orientativos, se asume que en el circuito objetivo se instalará también la depuradora en una zona apartada y además contará ya con drenaje de la pista y alrededores, como sucedió en el Circuit de Barcelona-Catalunya. Por tanto:

$$L_{\text{tubos}} = \frac{L_{\text{tubos Barcelona}}}{L_{\text{Barcelona}}} \cdot L \quad (8.7)$$

La relación  $L_{\text{tubos Barcelona}} / L_{\text{Barcelona}}$  es constante y su valor es 0,2912.

#### 8.3.5.2. Precio por metro de tubo

Se establece una relación lineal entre coste por metro de tubo y caudal máximo que transita por ellos. La proporción base se establece con los datos de coste y metros de tubo del Circuit de Barcelona-Catalunya.

$$C_{\text{metro de tubo}} = \frac{\left( \frac{C_{\text{drenaje Barcelona}}}{Q_{\text{máx Barcelona}}} \right) \cdot Q_{\text{máx}}}{L_{\text{tubos Barcelona}}} \quad (8.8)$$

### 8.3.5.3. Precio por metro

La ecuación general para el coste de la instalación de drenaje será:

$$C_{\text{drenaje}} = L_{\text{tubos}} \cdot C_{\text{metro de tubo}} \quad (8.9)$$

Esta expresión depende de la longitud del circuito, y además depende de  $Q_{\text{máx}}$ , diferente para cada intervalo de longitud. Resolviendo estas ecuaciones, se resume el coste por metro de circuito para la instalación de drenaje:

	Intervalo	Ciudad ejemplo	$L_{\text{tubo}} / L_{\text{circuito}}$	$C_{\text{metro de tubo}} (\text{€})$	Total (€/m)
N	65 - 60	Reykjavík	0,2912	368,68	<b>107,35</b>
	60 - 55	Edimburgo	0,2912	356,19	<b>103,72</b>
	55 - 50	Berlín	0,2912	343,70	<b>100,08</b>
	50 - 45	París	0,2912	331,22	<b>96,44</b>
	<b>45 - 40</b>	<b>Barcelona</b>	<b>0,2912</b>	<b>318,73</b>	<b>92,81</b>
	40 - 35	Washington	0,2912	306,24	<b>89,17</b>
	35 - 30	Atlanta	0,2912	293,75	<b>85,54</b>
	30 - 25	Nueva Delhi	0,2912	281,27	<b>81,90</b>
	25 - 20	Hong Kong	0,2912	268,78	<b>78,26</b>
	20 - 15	Ciudad de México	0,2912	256,29	<b>74,63</b>

<b>N</b>	15 - 10	Bangkok	0,2912	243,80	<b>70,99</b>
	10 - 5	Ciudad de Panamá	0,2912	231,32	<b>67,36</b>
	5 - 0	Singapur	0,2912	218,83	<b>63,72</b>
<b>S</b>	0 - 5	Nairobi	0,2912	218,83	<b>63,72</b>
	5 - 10	Jakarta	0,2912	231,32	<b>67,36</b>
	10 - 15	Salvador de Bahía	0,2912	243,80	<b>70,99</b>
	15 - 20	La Paz	0,2912	256,29	<b>74,63</b>
	20 - 25	São Paulo	0,2912	268,78	<b>78,26</b>
	25 - 30	Johannesburgo	0,2912	281,27	<b>81,90</b>
	30 - 35	Sydney	0,2912	293,75	<b>85,54</b>
	35 - 40	Melbourne	0,2912	306,24	<b>89,17</b>
	<b>40 - 45</b>	<b>Wellington</b>	<b>0,2912</b>	<b>318,73</b>	<b>92,81</b>

**Tabla 8.3** – Coste total por metro para la instalación de drenaje en función de la latitud del circuito.

### 8.3.6. Depuradora

Según el Presupuesto, le corresponde un coste de 127.084,17€.

Esta instalación se dimensiona según el caudal de paso, que en este caso es  $Q_{\text{máx}}$  (que, a su vez, depende de la longitud del circuito).

Se establece una relación lineal entre el coste de la instalación y el caudal de paso, y será una expresión dependiente de la longitud del circuito.

$$C_{\text{depuradora}} = \frac{C_{\text{depuradora Barcelona}}}{Q_{\text{máx Barcelona}} \cdot L_{\text{Barcelona}}} \cdot Q_{\text{máx}} \quad (8.10)$$

Empleando esta expresión, se calcula el coste por metro para todas las latitudes:

	Intervalo	Ciudad ejemplo	Total (€/m)
<b>N</b>	65 - 60	Reykjavík	<b>31,61</b>
	60 - 55	Edimburgo	<b>30,54</b>
	55 - 50	Berlín	<b>29,47</b>
	50 - 45	París	<b>28,40</b>
	<b>45 - 40</b>	<b>Barcelona</b>	<b>27,33</b>
	40 - 35	Washington	<b>26,26</b>
	35 - 30	Atlanta	<b>25,19</b>
	30 - 25	Nueva Delhi	<b>24,12</b>
	25 - 20	Hong Kong	<b>23,05</b>
	20 - 15	Ciudad de México	<b>21,98</b>
	15 - 10	Bangkok	<b>20,91</b>
	10 - 5	Ciudad de Panamá	<b>19,83</b>
	5 - 0	Singapur	<b>18,76</b>
<b>S</b>	0 - 5	Nairobi	<b>18,76</b>
	5 - 10	Jakarta	<b>19,83</b>
	10 - 15	Salvador de Bahía	<b>20,91</b>
	15 - 20	La Paz	<b>21,98</b>

<b>S</b>	20 - 25	São Paulo	<b>23,05</b>
	25 - 30	Johannesburgo	<b>24,12</b>
	30 - 35	Sydney	<b>25,19</b>
	35 - 40	Melbourne	<b>26,26</b>
	<b>40 - 45</b>	<b>Wellington</b>	<b>27,33</b>

**Tabla 8.4** – Coste total por metro para depuradora en función de la latitud del circuito.

### 8.3.7. Almacenamiento

Según el Presupuesto, le corresponde un coste de 404.770,00€.

En el Circuit de Barcelona-Catalunya, el espacio total de almacenamiento es de 14.500 m<sup>3</sup>.

Tomando como objetivo mantener la misma autonomía, se determinan las siguientes expresiones:

$$t = \frac{V}{Q_{\text{riego}}} \quad (8.11)$$

$$\frac{V_{\text{Barcelona}}}{Q_{\text{riego Barcelona}}} = \frac{V}{Q_{\text{riego}}} \rightarrow V = \frac{V_{\text{Barcelona}} \cdot Q_{\text{riego}}}{Q_{\text{riego Barcelona}}} = \frac{V_{\text{Barcelona}}}{L_{\text{Barcelona}}} \cdot L \quad (8.12)$$

Una vez obtenido el nuevo volumen, puede calcularse el precio. Debido a la linealidad y proporcionalidad de las ecuaciones, el precio resulta ser, después de álgebra:

$$C_{\text{almacenamiento}} = \frac{C_{\text{almacenamiento Barcelona}}}{L_{\text{Barcelona}}} \cdot L \quad (8.13)$$

La relación  $C_{\text{almacenamiento Barcelona}} / L_{\text{Barcelona}}$  es constante y su valor es 87,05 €/m.

## 8.4. Resultados y análisis

Una vez calculados los costes por metro de las distintas instalaciones, se resume en una tabla y se calcula el coste total por metro del proyecto.

Cabe destacar que no se incluyen los costes de ingeniería, ya que no dependen de la latitud y sólo ligeramente de la longitud del circuito, pero sin poder establecer una ecuación.

$$C = (C_{\text{riego}} + C_{\text{drenaje}} + C_{\text{depuradora}} + C_{\text{almacenamiento}}) \cdot L \quad (8.14)$$

Todos los costes totales se expresan en €/m.

	Intervalo	Ciudad	C <sub>riego</sub>	C <sub>drenaje</sub>	C <sub>depuradora</sub>	C <sub>alma.</sub>	Coste
<b>N</b>	65 - 60	Reykjavík	293,24	107,35	31,61	87,05	<b>519,26</b>
	60 - 55	Edimburgo	293,24	103,72	30,54	87,05	<b>514,55</b>
	55 - 50	Berlín	293,24	100,08	29,47	87,05	<b>509,84</b>
	50 - 45	París	293,24	96,44	28,40	87,05	<b>505,14</b>
	<b>45 - 40</b>	<b>Barcelona</b>	<b>293,24</b>	<b>92,81</b>	<b>27,33</b>	<b>87,05</b>	<b>500,43</b>
	40 - 35	Washington	293,24	89,17	26,26	87,05	<b>495,72</b>

<b>N</b>	35 - 30	Atlanta	293,24	85,54	25,19	87,05	<b>491,02</b>
	30 - 25	Nueva Delhi	293,24	81,90	24,12	87,05	<b>486,31</b>
	25 - 20	Hong Kong	293,24	78,26	23,05	87,05	<b>481,60</b>
	20 - 15	Ciudad de México	293,24	74,63	21,98	87,05	<b>476,90</b>
	15 - 10	Bangkok	293,24	70,99	20,91	87,05	<b>472,19</b>
	10 - 5	Ciudad de Panamá	293,24	67,36	19,83	87,05	<b>467,48</b>
	5 - 0	Singapur	293,24	63,72	18,76	87,05	<b>462,78</b>
<b>S</b>	0 - 5	Nairobi	293,24	63,72	18,76	87,05	<b>462,78</b>
	5 - 10	Jakarta	293,24	67,36	19,83	87,05	<b>467,48</b>
	10 - 15	Salvador de Bahía	293,24	70,99	20,91	87,05	<b>472,19</b>
	15 - 20	La Paz	293,24	74,63	21,98	87,05	<b>476,90</b>
	20 - 25	São Paulo	293,24	78,26	23,05	87,05	<b>481,60</b>
	25 - 30	Johannesburgo	293,24	81,90	24,12	87,05	<b>486,31</b>
	30 - 35	Sydney	293,24	85,54	25,19	87,05	<b>491,02</b>
	35 - 40	Melbourne	293,24	89,17	26,26	87,05	<b>495,72</b>
	<b>40 - 45</b>	<b>Wellington</b>	<b>293,24</b>	<b>92,81</b>	<b>27,33</b>	<b>87,05</b>	<b>500,43</b>

**Tabla 8.5 – Coste total por metro para todos los intervalos de latitudes.**

Se observa que es más caro construir estas instalaciones en climas fríos por la mayor recuperación de agua y, por tanto, la necesidad de ampliar las instalaciones que dependen del caudal (drenaje y depuración).

Aun así, la mayor parte del presupuesto cae en la instalación de riego, que es proporcional únicamente a la longitud del circuito.

La diferencia entre el ecuador y la máxima latitud es del 12,2%, siendo una diferencia pequeña.

Sin embargo, estos resultados deben analizarse considerando el gran margen de error que suponen estimaciones como las usadas, generalmente lineales. Con más datos de instalaciones realizadas podrían hacerse mejores regresiones y aproximaciones. Pese a esto, la tabla anterior sirve como un buen valor orientativo.



## 9. Análisis del impacto ambiental y consumo

El impacto ambiental de la instalación está regido por el consumo de agua total y el consumo eléctrico de los equipos instalados.

El consumo de agua del circuito es el que representa la alimentación del tanque principal a los tanques 1 y 2. Se ha realizado una estimación de funcionamiento de 16 horas en un mes. En este periodo se ha calculado el consumo medio y el consumo máximo de agua de la instalación. Los valores se detallan en la siguiente tabla.

Consumo de agua de la instalación			
Consumo máximo		Consumo medio	
Volumen	28000 m <sup>3</sup>	Volumen	14000 m <sup>3</sup>

**Tabla 9.1** – Consumo de agua de la instalación.

El consumo eléctrico del circuito es el que producen los diferentes grupos de presión distribuidos por la instalación. Se ha realizado un cálculo de la potencia media y máxima que gastan dichos equipos. En las tablas siguientes se detallan los consumos.

Sector 1: 2 bombas CPH 125-290 en serie			
Consumo máximo		Consumo medio	
Caudal	146,9 L/s	Caudal	74,8 L/s
Altura	210 metros	Altura	105 metros
Potencia	308,2 kW	Potencia	78 kW

**Tabla 9.2** – Consumo energético de las bombas del sector 1.

<b>Sector 2: 4 bombas CPH 400-620 en serie</b>			
Consumo máximo		Consumo medio	
Caudal	336,6 L/s	Caudal	168,3 L/s
Altura	540 metros	Altura	270 metros
Potencia	1785 kW	Potencia	446 kW

**Tabla 9.3**– Consumo energético de las bombas del sector 2.

<b>Bombeo de tanque principal a tanques 1 y 2: 3 bombas CPH 200-420 en paralelo</b>			
Consumo máximo		Consumo medio	
Caudal	486,2 L/s	Caudal	243,1 L/s
Altura	25 metros	Altura	12,5 metros
Potencia	120 kW	Potencia	30 kW

**Tabla 9.4** – Consumo energético de las bombas del tramo tanque principal a taques 1 y 2.

<b>Retorno de tanque 1 a tanque principal: 1 bomba CPH 200-420</b>			
Consumo máximo		Consumo medio	
Caudal	149,6 L/s	Caudal	74,8 L/s
Altura	25 metros	Altura	12,5 metros
Potencia	40 kW	Potencia	10 kW

**Tabla 9.5** – Consumo energético de las bombas del tramo tanque 1 a tanque principal.

Retorno de tanque 2 a tanque principal: 2 bombas CPH 200-420 en paralelo			
Consumo máximo		Consumo medio	
Caudal	336,6 L/s	Caudal	168,3 L/s
Altura	20 metros	Altura	10 metros
Potencia	70 kW	Potencia	20 kW

**Tabla 9.6** – Consumo energético de las bombas del tramo tanque 2 a tanque principal.

Bombeo de tanque 1 a tanque 2: 1 bomba CPH 200-420			
Consumo máximo		Consumo medio	
Caudal	149,6 L/s	Caudal	74,8 L/s
Altura	25 metros	Altura	12,5 metros
Potencia	40 kW	Potencia	10 kW

**Tabla 9.7** – Consumo energético de las bombas del tramo tanque 1 a tanque 2.

Retorno de tanque 2 a tanque 1: 1 bomba CPH 200-420			
Consumo máximo		Consumo medio	
Caudal	149,6 L/s	Caudal	74,8 L/s
Altura	25 metros	Altura	12,5 metros
Potencia	40 kW	Potencia	10 kW

**Tabla 9.8** – Consumo energético de las bombas del tramo tanque 2 a tanque 1.

En resumen, se determina que en un periodo de pruebas mensual de 16 horas se gastan 14000 m<sup>3</sup> de agua y 600 kW si se considera un aprovechamiento medio de la instalación.

En términos de impacto medioambiental tanto el gasto de agua y eléctrico no son excesivos teniendo en cuenta el tipo de instalación. El aprovechamiento del agua a partir de la instalación de drenaje para su depuración y nueva puesta en marcha es un gran proceso de ahorro. Además, sería de estudio impulsar la implantación de una instalación fotovoltaica para alimentar los grupos de presión.

La depuradora es de unas dimensiones menores a las convencionales que se encuentran en la ciudad ya que no son necesarios algunos procesos porque no se da la existencia de productos orgánicos en la instalación entre otros. Por lo tanto, su impacto medioambiental es casi nulo. Los residuos que se generan son arenas, grasas y las partículas de grandes dimensiones que se filtran en el proceso de desbaste. Éstas son portadas a un contenedor el cual debe ser vaciado por camiones que evacuen dichos residuos a un lugar destinado a los mismos.

En caso de fallo de la instalación de riego, el drenaje está preparado para evacuar el exceso de agua que se pudiese producir y su posterior envío al lugar destinado a la evacuación de agua. Si algún equipo de la depuradora está afectado por algún tipo de fallo los operarios encargados de su mantenimiento deben parar la instalación hasta su verificación y solución del mismo. En cualquier caso, las anomalías que se puedan producir en toda la instalación no tendrán impacto medioambiental por lo que en ese aspecto se trata de un proyecto con viabilidad ambiental.

## Conclusions

El equipo de trabajo considera que se han cumplido los objetivos marcados en el inicio del proyecto. El desenlace de los cálculos y desarrollo de planos es satisfactorio acorde al nivel buscado. Se ha conseguido el objetivo de profundizar en el ámbito de la ingeniería hidráulica, según se comentó en el prefacio (apartado 1.2), así como en los conocimientos básicos de la depuración de agua pluvial y residual.

En otra vertiente, el desarrollo del presupuesto resulta en números ligeramente elevados, con periodos de retorno amplios. Aquí, como en otros apartados de la Memoria, ha sido necesario el uso de aproximaciones (en este caso, la estimación de costes de empleados y precio a cobrar, por ejemplo) con una base débil, sin poder realizar regresiones firmes. Este efecto se ha visto ampliado en aspectos donde el equipo de trabajo no ha podido acceder a la información necesaria, como es el caso en la suposición de pendientes en las tuberías de drenaje y la necesidad de forzar inclinaciones, debido a la imposibilidad de acceder in-situ al circuito.

Por último, desde una perspectiva profesional ajena al desarrollo del proyecto, comentar que este tipo de instalación no está estandarizada a nivel global debido que además de que el coste de inversión inicial resulte elevado, no es una prioridad hoy en día realizar pruebas de neumáticos en mojado de manera continua. Por otro lado, ya existe el circuito de Paul Ricard en Francia con una instalación que cumple con las expectativas que están reflejadas en este proyecto y está geográficamente en un lugar cercano. Se entiende que sería óptimo seguir utilizando en el Circuit de Barcelona-Catalunya el método convencional con el paso de camiones que riegan la pista durante el tiempo necesario para realizar las pruebas.

## Ficha de contribución personal

La siguiente tabla muestra qué autor del trabajo ha sido responsable de cada apartado del presente proyecto. Si uno de los apartados citados posee sub-apartados, se asume que la responsabilidad de éstos ha estado, también, en manos del autor del apartado padre.

Núm.	Concepto	Autor
<b>1</b>	<b>Prefacio</b>	
<b>1.1</b>	Origen del trabajo	Daniel S. Esparragoza Machado
<b>1.2</b>	Motivación	Daniel S. Esparragoza Machado
<b>1.3</b>	Requerimientos previos	Daniel S. Esparragoza Machado
<b>2</b>	<b>Introducción</b>	
<b>2.1</b>	Objeto	Sergio Martín García
<b>2.2</b>	Alcance	Sergio Martín García
<b>3</b>	<b>Descripción y datos generales</b>	
<b>3.1</b>	Antecedentes	Daniel S. Esparragoza Machado
<b>3.2</b>	Localización	Sergio Martín García
<b>3.3</b>	Descripción del circuito	Sergio Martín García
<b>3.4</b>	Descripción de las instalaciones	Sergio Martín García
<b>3.5</b>	Descripción de la zona geográfica	Sergio Martín García
<b>4</b>	<b>Instalación de riego</b>	
<b>4.1</b>	Generalidades	Daniel S. Esparragoza Machado

4.2	Previsión de carga de agua	Daniel S. Esparragoza Machado
4.3	Seccionamiento del circuito	Daniel S. Esparragoza Machado
4.4	Selección y distribución de aspersores	Daniel S. Esparragoza Machado
4.5	Red de distribución de agua	Daniel S. Esparragoza Machado
4.6	Red de distribución de depuración a almacenamiento	Daniel S. Esparragoza Machado
4.7	Grupos de presión	Daniel S. Esparragoza Machado
4.8	Material de las tuberías	Daniel S. Esparragoza Machado
<b>5</b>	<b>Instalación de drenaje</b>	
5.1	Generalidades	Sergio Martín García
5.2	Superficie de recogida y estimaciones	Sergio Martín García
5.3	Potencial de recolección anual	Sergio Martín García
5.4	Caudal máximo	Sergio Martín García
5.5	Utilización de la instalación existente	Sergio Martín García
5.6	Diseño de la ampliación de la red de drenaje	Sergio Martín García
<b>6</b>	<b>Depuradora</b>	
6.1	Generalidades	Sergio Martín García
6.2	Localización	Sergio Martín García
6.3	Caracterización del agua y caudal	Sergio Martín García
6.4	Selección de procesos	Sergio Martín García
6.5	Desbaste	Sergio Martín García
6.6	Desarenado y desengrasado	Daniel S. Esparragoza Machado
6.7	Distribución en planta y recinto	Sergio Martín García

<b>7</b>	<b>Almacenamiento</b>	
<b>7.1</b>	Generalidades	Daniel S. Esparragoza Machado
<b>7.2</b>	Distribución de los tanques	Daniel S. Esparragoza Machado
<b>7.3</b>	Dimensión de los tanques	Daniel S. Esparragoza Machado
<b>7.4</b>	Previsión de autonomía	Sergio Martín García
<b>8</b>	<b>Portabilidad del proyecto</b>	
<b>8.1</b>	Introducción	Sergio Martín García
<b>8.2</b>	Variables	Sergio Martín García
<b>8.3</b>	Cálculo	Ambos
<b>8.4</b>	Resultados y análisis	Sergio Martín García
<b>9</b>	Análisis del impacto ambiental y consumo	Daniel S. Esparragoza Machado
	Presupuesto	Ambos
	<b>Anejo A: Pliego de condiciones</b>	
<b>A1</b>	Criterios generales	Sergio Martín García
<b>A2</b>	Instalación de riego	Daniel S. Esparragoza Machado
<b>A3</b>	Ampliación de la instalación de drenaje	Sergio Martín García
<b>A4</b>	Depuradora	Ambos
<b>A5</b>	Almacenamiento (depósitos)	Daniel S. Esparragoza Machado
<b>A6</b>	Uso de las instalaciones	Sergio Martín García
	<b>Anejo B: Planos</b>	
<b>01</b>	Localización del circuito	Sergio Martín García
<b>02</b>	Emplazamiento de la depuradora	Sergio Martín García



<b>03</b>	Distribución y dimensión de tanques	Daniel S. Esparragoza Machado
<b>04</b>	Instalación de riego	Daniel S. Esparragoza Machado
<b>05</b>	Ampliación del sistema de drenaje	Sergio Martín García
<b>06</b>	Depuradora	Sergio Martín García
	<b>Anejo C: Fichas técnicas</b>	Daniel S. Esparragoza Machado
	<b>Anejo D: Cálculos de la red de distribución de agua</b>	Daniel S. Esparragoza Machado



## Presupuesto y rentabilidad

### Presupuesto

Todos los precios incluyen una estimación de la mano de obra empleada en su instalación y puesta en marcha. Además de otros elementos o apoyos auxiliares ya adjuntos al precio mostrado.

Elemento	Uds.	Precio unit.	Total
<b>INSTALACIÓN DE RIEGO</b>			
Tubo acero inoxidable DN600	50m	145,00 €	7.250,00 €
Tubo acero inoxidable DN500	1360m	130,00 €	176.800,00 €
Tubo acero inoxidable DN300	2772m	93,85 €	260.152,20 €
Tubo acero inoxidable DN250	505m	75,51 €	38.132,55 €
Tubo acero inoxidable DN200	525m	60,00 €	31.500,00 €
Tubo acero inoxidable DN175	630m	47,23 €	29.754,90 €
Tubo acero inoxidable DN150	690m	40,00 €	27.600,00 €
Tubo acero inoxidable DN125	370m	33,81 €	12.509,70 €
Tubo acero inoxidable DN100	1500m	29,69 €	44.535,00 €
Tubo acero inoxidable DN75	610m	27,82 €	16.970,20 €
Tubo acero inoxidable DN63	425m	25,81 €	10.969,25 €
Tubo acero inoxidable DN50	275m	24,61 €	6.767,75 €
Tubo acero inoxidable DN40	275m	24,02 €	6.605,50 €
Tubo acero inoxidable DN32	780m	23,13 €	18.041,40 €
Manguito acero inoxidable DN600	13	41,00 €	533,00 €
Manguito acero inoxidable DN500	340	38,01 €	12.923,40 €
Manguito acero inoxidable DN300	695	35,03 €	24.345,85 €
Manguito acero inoxidable DN250	130	32,05 €	4.166,50 €

Elemento	Uds.	Precio unit.	Total
Manguito acero inoxidable DN200	135	29,07 €	3.924,45 €
Manguito acero inoxidable DN175	160	26,09 €	4.174,40 €
Manguito acero inoxidable DN150	175	23,11 €	4.044,25 €
Manguito acero inoxidable DN125	95	20,13 €	1.912,35 €
Manguito acero inoxidable DN100	375	17,15 €	6.431,25 €
Manguito acero inoxidable DN75	155	14,17 €	2.196,35 €
Manguito acero inoxidable DN63	110	11,19 €	1.230,90 €
Manguito acero inoxidable DN50	70	8,21 €	574,70 €
Manguito acero inoxidable DN40	70	7,23 €	506,10 €
Manguito acero inoxidable DN32	195	6,25 €	1.218,75 €
Codo 90° acero inoxidable DN600	5	53,83 €	269,15 €
Codo 45° acero inoxidable DN600	5	53,83 €	269,15 €
Codo 90° acero inoxidable DN500	150	51,85 €	7.777,50 €
Codo 45° acero inoxidable DN500	125	51,85 €	6.481,25 €
Codo 90° acero inoxidable DN300	350	49,87 €	17.454,50 €
Codo 45° acero inoxidable DN300	200	49,87 €	9.974,00 €
Codo 90° acero inoxidable DN250	60	47,89 €	2.873,40 €
Codo 45° acero inoxidable DN250	40	47,89 €	1.915,60 €
Codo 90° acero inoxidable DN200	60	45,91 €	2.754,60 €
Codo 45° acero inoxidable DN200	40	45,91 €	1.836,40 €
Codo 90° acero inoxidable DN175	75	43,93 €	3.294,75 €
Codo 45° acero inoxidable DN175	50	43,93 €	2.196,50 €
Codo 90° acero inoxidable DN150	90	41,95 €	3.775,50 €
Codo 45° acero inoxidable DN150	50	41,95 €	2.097,50 €
Codo 90° acero inoxidable DN125	50	39,97 €	1.998,50 €
Codo 45° acero inoxidable DN125	25	39,97 €	999,25 €

Elemento	Uds.	Precio unit.	Total
Codo 90° acero inoxidable DN100	200	37,99 €	7.598,00 €
Codo 45° acero inoxidable DN100	100	37,99 €	3.799,00 €
Codo 90° acero inoxidable DN75	80	35,01 €	2.800,80 €
Codo 45° acero inoxidable DN75	40	35,01 €	1.400,40 €
Codo 90° acero inoxidable DN63	60	33,03 €	1.981,80 €
Codo 45° acero inoxidable DN63	30	33,03 €	990,90 €
Codo 90° acero inoxidable DN50	35	31,05 €	1.086,75 €
Codo 45° acero inoxidable DN50	20	31,05 €	621,00 €
Codo 90° acero inoxidable DN40	40	29,07 €	1.162,80 €
Codo 45° acero inoxidable DN40	20	29,07 €	581,40 €
Codo 90° acero inoxidable DN32	50	27,09 €	1.354,50 €
Te acero inoxidable DN600	3	63,24 €	189,72 €
Te acero inoxidable DN500	75	60,27 €	4.520,25 €
Te acero inoxidable DN300	175	57,30 €	10.027,50 €
Te acero inoxidable DN250	30	54,33 €	1.629,90 €
Te acero inoxidable DN200	30	51,36 €	1.540,80 €
Te acero inoxidable DN175	40	48,39 €	1.935,60 €
Te acero inoxidable DN150	45	45,42 €	2.043,90 €
Te acero inoxidable DN125	25	42,45 €	1.061,25 €
Te acero inoxidable DN100	100	39,48 €	3.948,00 €
Te acero inoxidable DN75	40	36,52 €	1.460,80 €
Te acero inoxidable DN63	30	33,55 €	1.006,50 €
Te acero inoxidable DN50	20	30,58 €	611,60 €
Te acero inoxidable DN40	20	27,61 €	552,20 €
Te acero inoxidable DN32	210	24,64 €	5.174,40 €
Válvula reguladora de caudal DN600	2	35.005,00 €	70.010,00 €

Elemento	Uds.	Precio unit.	Total
Válvula reguladora de caudal DN300	4	20.005,00 €	80.020,00 €
Reductor de presión DN32	266	605,00 €	160.930,00 €
Aspersor Hunter I-25	266	35,00 €	9.310,00 €
Bomba CPH 125-290	2	7.190,00 €	14.380,00 €
Bomba CPH 400-620	4	16.010,00 €	64.040,00 €
Bomba CPH 200-420	8	10.510,00 €	84.080,00 €
<b>Subtotal (instalación de riego)</b>			<b>1.363.588,02 €</b>

Elemento	Uds.	Precio unit.	Total
<b>INSTALACIÓN DE DRENAJE</b>			
Tubo corrugado DN500	581m	182,42 €	105.986,02 €
Tubo corrugado DN630	383m	193,09 €	73.953,47 €
Tubo corrugado DN800	306m	273,21 €	83.602,26 €
Tubo corrugado DN1000	84m	364,71 €	30.635,64 €
Manguito unión DN500	97	177,08 €	17.176,76 €
Manguito unión DN630	64	468,91 €	30.010,24 €
Manguito unión DN800	48	669,62 €	32.141,76 €
Manguito unión DN1000	16	865,29 €	13.844,64 €
Junta DN150	4	6,16 €	24,64 €
Junta DN500	2	28,47 €	56,94 €
Junta DN630	2	52,43 €	104,86 €
Junta DN800	12	65,18 €	782,16 €

Elemento	Uds.	Precio unit.	Total
Junta DN1000	4	91,83 €	367,32 €
Arqueta	6	167,25 €	1.003,50 €
Válvula guillotina DN800	2	20.934,00 €	41.868,00 €
<b>Subtotal (instalación de drenaje)</b>			<b>431.558,21 €</b>

Elemento	Uds.	Precio unit.	Total
<b>DEPURADORA</b>			
<b>Desbaste</b>			
Construcción del canal	1	1.384,63 €	1.384,63 €
Rejilla desbaste paso 10mm 1x1,5m	1	9.388,00 €	9.388,00 €
Rejilla desbaste paso 50mm 1x2,25m	1	1.487,20 €	1.487,20 €
<b>Desarenado / Desengrasado</b>			
Construcción del canal	2	3.300,00 €	6.600,00 €
Puente Grúa con bomba y tubo de extracción de arenas	1	56.200,00 €	56.200,00 €
Difusores	14	1.050,00 €	14.700,00 €
<b>Recinto</b>			
Uniformización del terreno	1	10.000,00 €	10.000,00 €
Vallado	451m	25,00 €	11.275,00 €
Puertas	4	540,00 €	2.160,00 €
Asfaltado	1734m <sup>2</sup>	8,01 €	13.889,34 €
<b>Subtotal (depuradora)</b>			<b>127.084,17 €</b>

Elemento	Uds.	Precio unit.	Total
<b>ALMACENAMIENTO (DEPÓSITOS)</b>			
Tanque 8000 m3 (Excavación)	8000m <sup>3</sup>	26,66 €	213.280,00 €
Tanque 8000 m3 (Recubrimiento)	200m <sup>3</sup>	70,00 €	14.000,00 €
Tanque 2000 m3 (Excavación)	2000m <sup>3</sup>	26,66 €	53.320,00 €
Tanque 2000 m3 (Recubrimiento)	60m <sup>3</sup>	70,00 €	4.200,00 €
Tanque 4500 m3 (Excavación)	4500m <sup>3</sup>	26,66 €	119.970,00 €
Tanque 4500 m3 (Recubrimiento)	120m <sup>3</sup>	70,00 €	8.400,00 €
<b>Subtotal (almacenamiento)</b>			<b>404.770,00 €</b>

Elemento	Total
<b>INGENIERÍA</b>	
Desarrollo del proyecto	48.000,00 €



SUBTOTALS	COSTE
Instalación de riego	1.363.588,02 €
Instalación de drenaje	431.558,21 €
Depuradora	127.084,17 €
Almacenamiento	404.770,00 €
Ingeniería	48.000,00 €
<b>TOTAL</b>	<b>2.375.000,40 €</b>

El coste total del proyecto asciende a 2.375.000,40€ (DOS MILLONES TRESCIENTOS SETENTA Y CINCO MIL euros con CUARENTA céntimos).

## Rentabilidad

El retorno de capital dependerá de diferentes factores, costes fijos y variables. Debido a la alta flexibilidad de los costes variables, se estimará el retorno de capital por mes, con valores medios.

El retorno se realizará mediante eventos de riego, donde un cliente solicitará los servicios de riego al circuito, y se pondrán a su disposición diferentes instalaciones para llevar a cabo los experimentos. Entre ellas, las instalaciones proyectadas, edificios de *boxes*, la pista, etc.

## Evento de riego y relación mensual

Para caracterizar un evento de riego, donde un cliente solicita los servicios de riego, se establecerán distintos parámetros clave.

En cuanto al tiempo, se estiman dos jornadas de 8 horas al mes, resultando en 16h horas mensuales de riego. Este valor equivaldría a dos jornadas de 8h al mes, probablemente para el mismo cliente y en días consecutivos.

Para materia de cálculos, el caudal medio empleado será del 50% del máximo (distinto para cada tramo), y se calculará para todo el circuito, sin segmentación.

## Costes fijos

Los costes fijos dependen únicamente del personal a cargo de las nuevas instalaciones. Se estiman 4 operarios de mantenimiento para las instalaciones de

riego, 3 operarios encargados de la depuradora, y 4 operarios para trabajos en la zona de *boxes* y pista durante los eventos.

Su sueldo mensual se estima en 1.000€ por operario, resultando en un total de 11.000€/mes.

Además, se añaden unos costes de material de mantenimiento general de 10.000€/año.

Los costes fijos anuales son de 142.000 €.

## Costes variables

Los costes variables dependen del tiempo y caudal de los eventos. Más tiempo y/o más caudal implica más consumo de agua y electricidad.

Agua: el caudal medio será de 0,25 m<sup>3</sup>/s (aproximadamente 50% del máximo), y evaluado sobre 16 horas de riego al mes resulta en 14.400 m<sup>3</sup>/mes. Estimando un coste del agua de 0,3 €/m<sup>3</sup>, el total ascendería a 4.320 €/mes. Asumiendo una cobertura pluvial del 50%, se reduce a 2.160 €/mes.

Electricidad: la potencia en kW que desarrollarán las bombas para el caudal medio, según mostrado en el apartado 8, es de 600 kW. Esta potencia, evaluada sobre 16 horas mensuales, resultaría en 9600 kWh. Asumiendo un precio medio diario de 0,12784€/kWh (según precios de Endesa), el total mensual asciende a 1.227,26 €/mes.

Con estos parámetros, se asimilan los costes variables a unos de tipo fijo, para poder realizar los cálculos de retorno. En realidad, los consumos oscilarán más o menos dependiendo de las horas de riego y los eventos que se realicen.

Los costes variables anuales, evaluados para caudal medio y 16h/mes, son de 40.647,12 €.

## Ingresos

En los ingresos entra en juego la política de precios que se desee implantar. Los ingresos dependen casi en su totalidad del dinero que se cobre al cliente por una jornada de riego. Para realizar los cálculos, se evaluarán distintos precios, comprendidos entre 30.000 y 40.000 € por dos jornadas de 8h (un evento de riego de 16h totales).

## Retorno

Los valores participantes del cálculo son los siguientes:

Parámetro	Valor
Costes fijos (anual)	142.000 €
Costes variables eval. en valores medios (anual)	40.647,12 €
Ingresos por evento	30.000 - 40.000 €
Ingresos por eventos (anual)	360.000 - 480.000 €
Inversión	2.375.000
Tasa de interés (i)	4,5%

**Tabla P1** – Resumen de parámetros para el cálculo del retorno.

Para calcular el retorno, se calculará el VAN (Valor Actual Neto) para los siguientes 30 años. El retorno completo de la inversión sucederá cuando el VAN obtenga valores positivos.

La expresión del VAN es:

$$VAN = \sum_{n=1} \frac{I}{(1+i)^n} \quad (8.7)$$

La siguiente tabla muestra el valor del VAN para los siguientes 30 años, para tres posibles casos de política de precios. Se utilizan precios de 30.000€, 35.000€ y 40.000€ para cada jornada de 16h de riego (lo que se emplea como ingreso mensual).

Año	VAN (30.000€)	VAN (35.000€)	VAN (40.000€)
0	-2.375.000,40 €	-2.375.000,40 €	-2.375.000,40 €
1	-2.205.284,73 €	-2.147.868,46 €	-2.090.452,19 €
2	-2.042.877,38 €	-1.930.517,32 €	-1.818.157,25 €
3	-1.887.463,65 €	-1.722.525,79 €	-1.557.587,93 €
4	-1.738.742,39 €	-1.523.490,84 €	-1.308.239,30 €
5	-1.596.425,38 €	-1.333.026,78 €	-1.069.628,17 €
6	-1.460.236,86 €	-1.150.764,51 €	-841.292,16 €
7	-1.329.912,92 €	-976.350,86 €	-622.788,80 €
8	-1.205.201,01 €	-809.447,85 €	-413.694,68 €
9	-1.085.859,47 €	-649.732,04 €	-213.604,61 €
10	-971.657,04 €	-496.893,95 €	-22.130,86 €

11	-862.372,42 €	-350.637,41 €	161.097,61 €
12	-757.793,84 €	-210.678,99 €	336.435,86 €
13	-657.718,64 €	-76.747,49 €	504.223,65 €
14	-561.952,89 €	51.416,62 €	664.786,14 €
15	-470.311,04 €	174.061,71 €	818.434,45 €
16	-382.615,48 €	291.425,43 €	965.466,33 €
17	-298.696,28 €	403.735,20 €	1.106.166,69 €
18	-218.390,83 €	511.208,68 €	1.240.808,18 €
19	-141.543,51 €	614.054,10 €	1.369.651,72 €
20	-68.005,41 €	712.470,78 €	1.492.946,97 €
21	2.365,99 €	806.649,42 €	1.610.932,85 €
22	69.707,03 €	896.772,52 €	1.723.838,00 €
23	134.148,22 €	983.014,72 €	1.831.881,21 €
24	195.814,44 €	1.065.543,14 €	1.935.271,84 €
25	254.825,16 €	1.144.517,70 €	2.034.210,24 €
26	311.294,76 €	1.220.091,45 €	2.128.888,14 €
27	365.332,65 €	1.292.410,82 €	2.219.488,99 €
28	417.043,56 €	1.361.615,97 €	2.306.188,38 €
29	466.527,67 €	1.427.840,99 €	2.389.154,30 €
30	513.880,90 €	1.491.214,21 €	2.468.547,52 €

**Tabla P2** – Periodos de retorno para diferentes precios a cobrar.

En resumen, el tiempo de retorno para los diferentes precios estudiados es el siguiente:

Precio por evento de 16h (€)	Tiempo de retorno (años)
30.000	21
35.000	14
40.000	11

**Tabla P3** – Resumen de periodos de retorno para los distintos precios.

Cabe repetir que en todo momento se han utilizado valores de caudal y tiempo medios. Esto implica que el valor final del tiempo de retorno es muy dependiente de las condiciones reales de riego y las políticas de uso que finalmente se apliquen en la instalación.



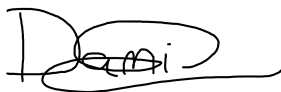


## Bibliografía

- White, F. *Mecánica de fluidos*. 5ª ed. España. Editorial McGraw Hill, 2003. ISBN 0-07-240217-2.
- Lozano-Rivas, W. *Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales* [en línea]. 1ª versión. Colombia: Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2012. [Consulta: 8 marzo 2018]. Disponible en: <<https://www.researchgate.net/publication/298354134>>
- Lozano-Rivas, W. *Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales* [en línea]. 1ª versión. Colombia: Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2012. [Consulta: 8 marzo 2018]. Disponible en: <<https://www.researchgate.net/publication/298354134>>
- Empresas Públicas de Medellín (EPM). *Guía para el diseño Hidráulico de Redes de Alcantarillado* [en línea]. 1ª versión. Medellín. 2009. [Consulta: 15 febrero 2018]. Disponible en: <[https://www.epm.com.co/site/Portals/0/centro\\_de\\_documentos/GuiaDisenoHidraulicoRedesAlcantarillado.pdf](https://www.epm.com.co/site/Portals/0/centro_de_documentos/GuiaDisenoHidraulicoRedesAlcantarillado.pdf)>
- Moncho Agud, R. *Análisis de la intensidad de precipitación: Método de la intensidad contigua* [en línea]. [Entrada: 14 de enero de 2008]. [Consulta: 20 de enero de 2018]. Disponible en: <<https://www.tiempo.com/ram/447/analisis-de-la-intensidad-de-precipitacion-metodo-de-la-intensidad-contigua/>>.
- AEMET. *Base de datos meteorológicos de precipitaciones, interpretador Datosclima* [en línea]. [Consulta: 27 enero 2018]. Disponible en: <<https://datosclima.es/Aemet2013/Precipitacion2013.php>>

- Formula One. *Rules & Regulations: Tyres and wheels*. [en línea]. [Entrada: enero de 2018]. [Consulta: 22 de enero de 2018]. Disponible en: <<https://www.formula1.com/en/championship/inside-f1/rules-regs/tyres-and-wheels.html>>.
- Ministerio de Hacienda y Función Pública. *Sede Electrónica del Catastro, visor cartográfico IDEE* [en línea]. [Consulta: 12 febrero 2018]. Disponible en: <<https://www1.sedecatastro.gob.es/CYCBienInmueble/OVCBusqueda.aspx>>
- Google; Instituto de Geografía Nacional. *Google Maps: imágenes por satélite y mapa de calles* [en línea]. [Consulta: 12 enero 2018]. Disponible en: <<https://www.google.es/maps/>>

Fin de la Memoria.



Daniel S. Esparragoza Machado



Sergio Martín García

## **Anejo A: Pliego de Condiciones**

### **A1. Criterios generales**

Todas las obras y operaciones se llevarán a cabo bajo cumplimiento de las normas, reglamentaciones y directivas vigentes aplicables a las obras proyectadas en la fecha de finalización del presente Proyecto Ejecutivo.

Se debe, en todo momento, cuidar la integridad y seguridad del personal a cargo de la construcción y mantenimiento de las instalaciones proyectadas.

Todas las obras y modificaciones se realizarán según lo estipulado en el presente Pliego de Condiciones, apoyado en los datos de la Memoria y Planos.

### **A2. Instalación de riego**

#### **A2.1. Puesta en marcha**

En cada inicio de la instalación después de un período de más de una semana de inactividad se debe realizar una prueba de presión. La prueba debe realizarse primeramente con una carga media en toda la instalación y pasados unos minutos después de comprobar que no existe ninguna anomalía se debe pasar a trabajar con carga máxima. Si después del paso de unos minutos no se producen anomalías, se debe proceder al reinicio de la instalación ya con la carga estipulada para la prueba que vaya a realizarse.

## A2.2. Seccionamiento del circuito

El circuito consta de dos sectores diferenciados que están alimentados por tanques independientes y bombeados por grupos de presión independientes. El resto de elementos son homólogos en cada sector por lo que cuidado y el mantenimiento de los mismos sería conveniente que se hiciese por separado para que exista mayor cuidado de cada uno y menos probabilidad de fallo por falta de mantenimiento.

En el caso de realizarse pruebas de riego en todo el circuito deben desactivarse los 6 aspersores que no están dentro del tramo largo de la pista. En cambio, si se van a realizar pruebas sectoriales, deben activarse aquellos que correspondan al sector de trabajo.

En el caso de realizarse pruebas de riego en todo el circuito deben activarse los dos equipos de presión de cada sector. En cambio, si se van a realizar pruebas sectoriales, deben activarse aquellos que correspondan al sector de trabajo y desactivarse el resto.

## A2.3. Aspersores

Los aspersores tienen la capacidad de estar enterrados en el suelo en caso de no estar en funcionamiento. Si se prevé que la ubicación de alguno de estos elementos en zonas determinadas puede conllevar algún tipo de peligro al paso de vehículos deben mantenerse en posición enterrada.

Se seguirá la distribución estipulada en memoria y planos de los aspersores cumpliendo en todos los puntos con la separación marcada.

Antes del inicio de cada riego debe comprobarse que la presión de todos los aspersores sea inferior a 6 bares para evitar cualquier tipo de rotura y la consecuente fuga. En caso de que se produzca algún tipo de fuga por la rotura de

un aspersor se deberá cortar el paso del agua en el sector en el que está ubicado el aspersor usando las válvulas de corte que están repartidas por la red.

Los aspersores tienen regulación de giro. En la memoria del proyecto se estipula cual es la graduación óptima para el riego de la pista. En caso de que por especificaciones propias se decida cambiar esta graduación se debe saber que el rango de giro de los que están prescritos en proyecto es de 50 a 360 grados.

## **A2.4. Red de distribución**

La red seguirá la geometría marcada en proyecto y siguiendo las diferentes ramificaciones que se estipulan. En ningún caso se instalarán tuberías de diámetro menor a los estipulados y debe evitarse en la medida de lo posible instalar diámetros mayores.

El material de las tuberías debe ser acero inoxidable en todos los tramos. Las uniones de tramos deben realizarse con manguitos del mismo material. Los accesorios varios instalados en la red también deben ser de acero inoxidable y deben estar normalizados.

Las tuberías irán enterradas a una profundidad de aproximadamente tres metros a lo largo de toda la instalación. Los tramos de 32 milímetros de diámetro conectados a los aspersores deberán instalarse en posición vertical. Tanto las tuberías enterradas como los tramos verticales deben estar instalados de manera firme asegurando la posición estable de los mismos. Los métodos de zanjado y suportación de la tubería deben ser los estandarizados que se detallan en todo tipo de manuales de instalación de tuberías enterradas. Además, debe asegurarse la linealidad de la red en todos los tramos.

## A2.5. Grupos de presión

Los grupos de presión deben cumplir con las especificaciones descritas en proyecto. En la memoria se prescriben tipos de grupos de presión con configuraciones de instalaciones determinadas que cumplen los requisitos. Se debe seguir en la medida de lo posible los datos técnicos de proyecto aunque pueden instalarse otro tipo de equipos siempre y cuando sean capaces de cumplir con las especificaciones exigidas.

Las presiones deben comprobarse en cada una de las bombas que forman los diferentes grupos de presión para evitar un daño en los equipos. Estos valores irán indicados en las fichas técnicas de los equipos que son aportadas por el fabricante.

Se debe hacer inspección y limpieza tanto externa como interna de cada uno de los equipos. En mayor medida, aquellas partes que están en contacto con el agua para comprobar el tipo de desgaste que están sufriendo. En caso de que alguna máquina se encuentre en un estado de desgaste por abrasión o corrosión entre otros, debe sustituirse.

Los grupos de presión prescritos en proyecto se instalan con unión embridada. En caso que se decida instalar equipos con unión roscada, puede hacerse siempre y cuando cumplan con las especificaciones técnicas de la instalación.

La puesta en marcha de todos los equipos debe ser moderada y no deben trabajar a máxima potencia desde parado. Es decir, en el arranque deben trabajar con una carga de nivel medio como máximo y al paso de al menos 15 minutos no pueden trabajar a máxima potencia.

El material de rotor y álabes en los equipos debe ser acero inoxidable o acero galvanizado.

## **A3. Ampliación de la instalación de drenaje**

### **A3.1. Tubos**

En todos los casos se seguirán las indicaciones sobre diámetros y otras variables descritas en la Memoria, Planos y el presente Pliego de condiciones.

En ningún caso se instalarán diámetros menores a los indicados.

Para todos los tramos, se instalarán tubos de PVC corrugado.

La unión entre segmentos de tubo se realizará con manguitos (sean lisos o con tope), y en las uniones con arquetas u otros elementos se colocarán las juntas de estanqueidad adecuadas.

En todos los tramos se enterrarán los tubos.

La profundidad de la zanja será la suficiente para garantizar que el soporte es firme y puede soportar los tubos bajo carga. Además, esta profundidad debe asegurar el cumplimiento de los pendientes mínimos de cada tramo (véase siguiente apartado).

### **A3.2. Pendiente**

En todos los tramos (a excepción de la reconducción del tramo final del Drenaje 2, donde es indiferente mientras se favorezca el flujo) se especifica el pendiente mínimo en el Plano 05. En todos los casos se construirá la línea con dicho pendiente mínimo.

### A3.3. Trazado

En todos los tramos se trazará la línea como se indica en el plano, en la medida de lo posible.

El trazado se realizará lo más lineal posible, sin cambios de dirección bruscos.

Se admiten ligeras desviaciones en las siguientes circunstancias:

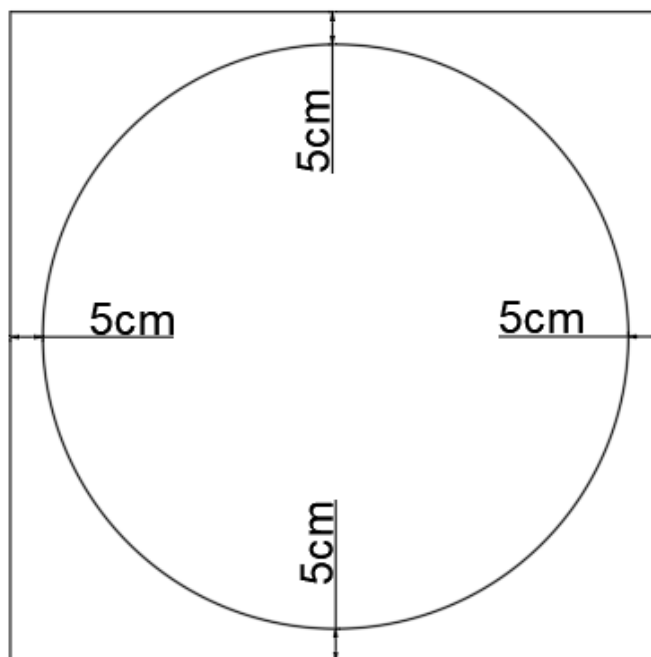
- Para cumplir con el pendiente mínimo.
- Para mantener la línea enterrada.
- Para evitar conflictos con instalaciones ya presentes.
- Para evitar conflictos con elementos estructurales de nueva construcción, temporales, o, en general, que no aparecen en el plano.
- Para evitar giros bruscos.
- Para evitar que los tubos queden en estados peligrosos que puedan dañarlos parcial o totalmente.
- Para garantizar que la zanja donde se entierran es firme y puede soportar el peso bajo carga de los tubos.

En los tramos donde el trazado circula contiguo al camino perimetral del circuito, se mantendrá una separación mínima de 0,5m entre el tubo y el camino, y una separación máxima de 1,5m.

### A3.4. Arquetas

El tamaño de las arquetas será el necesario para alojar la unión con los conductos que allí se unen. Su geometría será siempre de prisma recto, cuyas aristas medirán, como mínimo, 10cm más que el diámetro más grande que quiera alojarse, de modo que la tangente del diámetro se distancie 5cm de la pared más cercana como mínimo. El siguiente esquema representa esta colocación:





**Imagen A3.1** – Separaciones mínimas entre las tangentes del conducto y las paredes de la arqueta.

Se construirán siempre en hormigón.

La unión de la arqueta con los conductos debe ser estanca, y deben usarse las juntas de estanqueidad adecuadas.

La cara superior de las arquetas debe ser desmontable sin destrucción, y podrá emplearse una losa de hormigón o acero.

### **A3.5. Entrada en la depuradora y desviación**

La entrada a la depuradora se realizará atravesando el vallado siguiendo el trazado indicado, bajo tierra.

Las salidas de la arqueta proyectada dentro del recinto de depuración deben contar con válvulas guillotina de activación manual.

Los accionamientos de las válvulas guillotina (o compuerta) deben ser accesibles desde, como mínimo, un metro sobre el nivel del suelo. Dependiendo del pendiente, se instalarán extensiones del eje de accionamiento para cumplir con la altura mínima.

El tramo de unión entre la válvula guillotina y el canal de desbaste se realizará, también, con tubos corrugados de PVC DN800, enterrados.

### **A3.6. Mantenimiento**

Se debe asegurar el paso del agua por los conductos y arquetas que forman la red de drenaje. En caso de notificar obstrucciones, se debe proceder de inmediato a su limpieza, de modo que se evite acumulación excesiva de agua y/o inundaciones.

La frecuencia de las revisiones debe incrementarse en épocas lluviosas, debido al incremento de agua en el sistema

## **A4. Depuradora**

### **A4.1. Desbaste**

#### **A4.1.1. Canal**

El canal se excavará bajo el nivel del suelo, de modo que su altura al inicio sea de 1 metro, y su parte más alta coincida con la horizontal del suelo.

El material a emplear será hormigón a lo largo de todo el canal.

La longitud total, comprendida entre el final de los tubos de drenaje y el inicio del canal de desarenado/desengrasado, será de 9,5 metros. En ningún caso el canal excederá 10m.

El pendiente debe ser del 1% en toda la longitud, en el sentido del flujo.

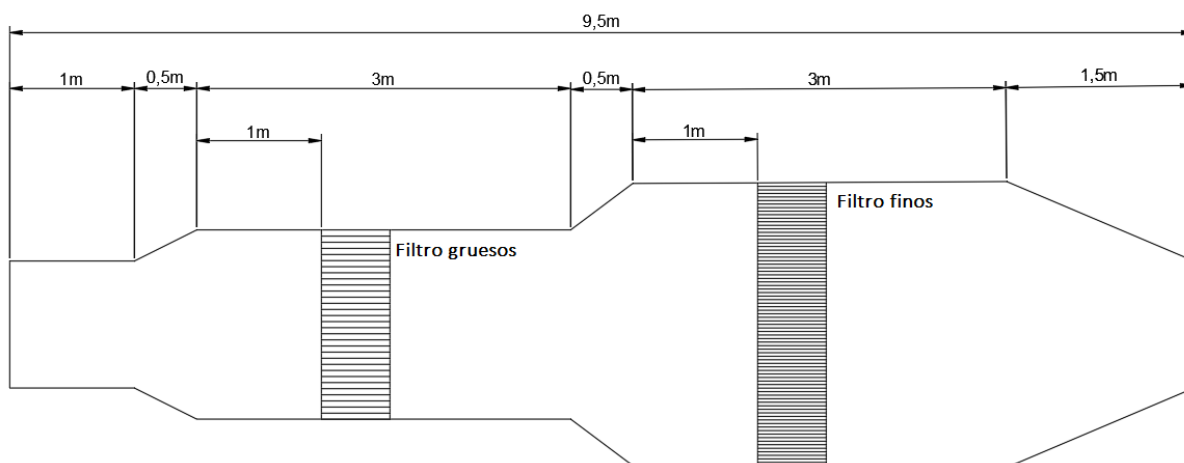
El ancho del canal en las zonas de rejillas será el establecido en los cálculos de la Memoria, resumidos en la siguiente tabla:

	<b>Filtro sólidos gruesos</b>	<b>Filtro sólidos finos</b>
<b>Separación entre barrotes (luz)</b>	5 cm	1 cm
<b>Grueso de los barrotes</b>	2,5 cm (1")	1,3 cm (1/2")
<b>Número de barrotes</b>	19	97
<b>Ancho del canal en este punto</b>	1,5 m	2,25 m

**Tabla A4.1** – Resumen de características de los filtros de desbaste.

El ensanchamiento debe ser progresivo, sin ángulos rectos. Se sugiere el empleo de ángulos de 45°.

La separación longitudinal entre el inicio del canal y los filtros, así como la distancia entre filtros, debe ser de, como mínimo, 2 metros. A continuación, se muestra una posible distribución de dimensiones para el canal de desbaste:



**Imagen A4.1** – Propuesta de distribución de dimensiones en el canal de desbaste.

En el esquema, se muestra una terminación del canal en ángulo hacia un ancho menor. Es posible omitir este estrechamiento si la unión con el canal de desarenado/desengrasado lo permite y se beneficia de ello.

#### A4.1.2. Filtros

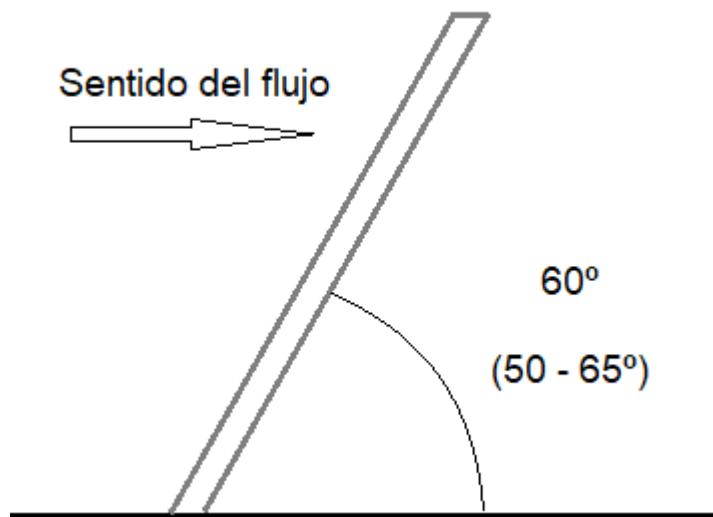
Las rejas de filtros se instalarán, preferentemente, a 60° de inclinación con la horizontal. Se permiten, si no fuera posible lo anterior, inclinaciones en el rango 50 - 65°.

Ambos filtros deben contar con bandeja escurridora en su parte superior para permitir su limpieza y secado inicial de los residuos, y no contarán con sistema de limpieza automático.

El número de barrotes, separación y dimensión está definido en la Memoria, apartado 6.5, y en el presente Pliego de condiciones, en el anterior sub-apartado.

Las rejas deben sujetarse o introducirse en un espacio habilitado en las paredes laterales del canal, de forma firme y sin juego.

Su colocación será tal que el extremo inferior de los barrotes contacte directamente con el suelo del canal, sin permitir el paso de sólidos por debajo de los barrotes.



**Imagen A4.2** – Colocación de las rejillas de desbaste.

En el sentido del flujo, el primer filtro a instalar es el de sólidos gruesos, seguido, como mínimo 2 metros más adelante, por el de sólidos finos.

## **A4.2. Desarenado y desengrasado**

### **A4.2.1. Canales de desarenado y desengrasado**

El recinto estipulado para realizar los procesos de desarenado y desengrasado es el mismo ya que como se comenta en la memoria es posible realizarlo de tal forma debido a las dimensiones y exigencias que tiene la unidad depuradora. Ambos procesos se realizan en un espacio que debe ser un ensanchamiento del canal de

desbaste. Por lo tanto, se debe partir de la excavación realizada para el canal de desbaste y luego seguir con la geometría del canal de desarenado y desengrasado.

En realidad, el espacio se debe dividir en dos canales simétricos y homólogos que constan con las mismas especificaciones. La separación entre ambos se debe realizar con una pared de hormigón con un rango de amplitud de entre medio y un metro. La pared debe estar instalada desde el inicio del ensanchamiento del canal principal hasta el final del mismo.

La sección transversal de ambos canales debe seguir las directrices estipuladas en la memoria. Es decir, la parte superior de cada canal debe ser más ancha y a una profundidad antes del inicio de la inclinación de 45° de un tercio de la altura de la zona de desarenado.

En relación a la limpieza, el canal debe vaciarse periódicamente para llevar a cabo un proceso de inspección del recinto y de limpieza del mismo.

A continuación, se aporta una tabla con las especificaciones del recinto de desarenado y desengrasado.

Parámetro	Valor
Volumen / Unidad	180 m <sup>3</sup>
Unidades	2
Volumen total	360 m <sup>3</sup>
Área superficial / Unidad	51,43 m <sup>2</sup>
Área total / Unidad	12,5 m <sup>2</sup>
Longitud / Unidad	14,4 metros
Profundidad / Unidad	3,5 metros
Ancho / Unidad	3,6 metros

Longitud / Ancho	4
Profundidad / Ancho	1
Ancho total	4,8 metros
Profundidad zona de desengrasado	1,2 metros
Suministro de aire / Unidad	180 m <sup>3</sup> /h
Suministro de aire total	360 m <sup>3</sup> /h

**Tabla A4.2** – Especificaciones del canal de desarenado-desengrasado.

#### **A4.2.2. Difusores**

Los difusores a instalar deben ser modulares para optimizar el espacio del recinto y provocar la perturbación menor posible en el mismo. Pueden ser tanto del tipo difusores tubulares como discos difusores siempre que cumplan con las especificaciones del proyecto. Se recomienda que sean del tipo extraíbles porque de esta forma su limpieza es mucho más sencilla fuera de la unidad y además no es necesario el vaciado de los canales.

En el proyecto está prescrito un modelo concreto de estos equipos con una distribución determinada. Es posible instalar otro modelo con otra distribución equivalente siempre que se cumplan las características técnicas de la unidad.

Debe realizarse una inspección periódica de los difusores para comprobar que no padecen ningún tipo de daño y además al mismo tiempo debe realizarse la limpieza y comprobar el tipo de desgaste del material. En caso de que algún equipo se encuentre en estado defectuoso deberá ser sustituido. Si los equipos son modulares se deberá sustituir con un módulo de las mismas prestaciones que sus homólogos.

### **A4.2.3. Puente Desarenador - Desengrasador**

El equipo puente que se encarga de diferentes funciones debe contener todos los elementos que se comentan en la memoria para poder realizar sus funciones adecuadamente.

Se debe realizar una inspección y verificación del buen estado de todos los equipos que constituyen el puente. Cuando se realicen dichas inspecciones la instalación debe pararse. En caso de fallo del algún elemento del equipo debe pararse la instalación hasta que no se realice la sustitución pertinente del mismo y todo el conjunto pueda funcionar con normalidad.

El giro del sistema de eliminación de grasas debe ser a una velocidad moderada, siguiendo las recomendaciones del fabricante.

Periódicamente debe hacerse un proceso de limpieza en las rasquetas del sistema de extracción de grasas y en el tubo de extracción de arenas junto con la motobomba. El material de las rasquetas y tubo de extracción debe ser acero.

En las revisiones de la motobomba debe comprobarse el desgaste por erosión o corrosión que sufran los elementos interiores del sistema. Se deben realizar las sustituciones pertinentes cuando el rendimiento de los mismos sea deficiente o visiblemente se determine que existen afectaciones evidentes.

El perfil transversal de cada canal de la estación depuradora debe ser el de la siguiente imagen.



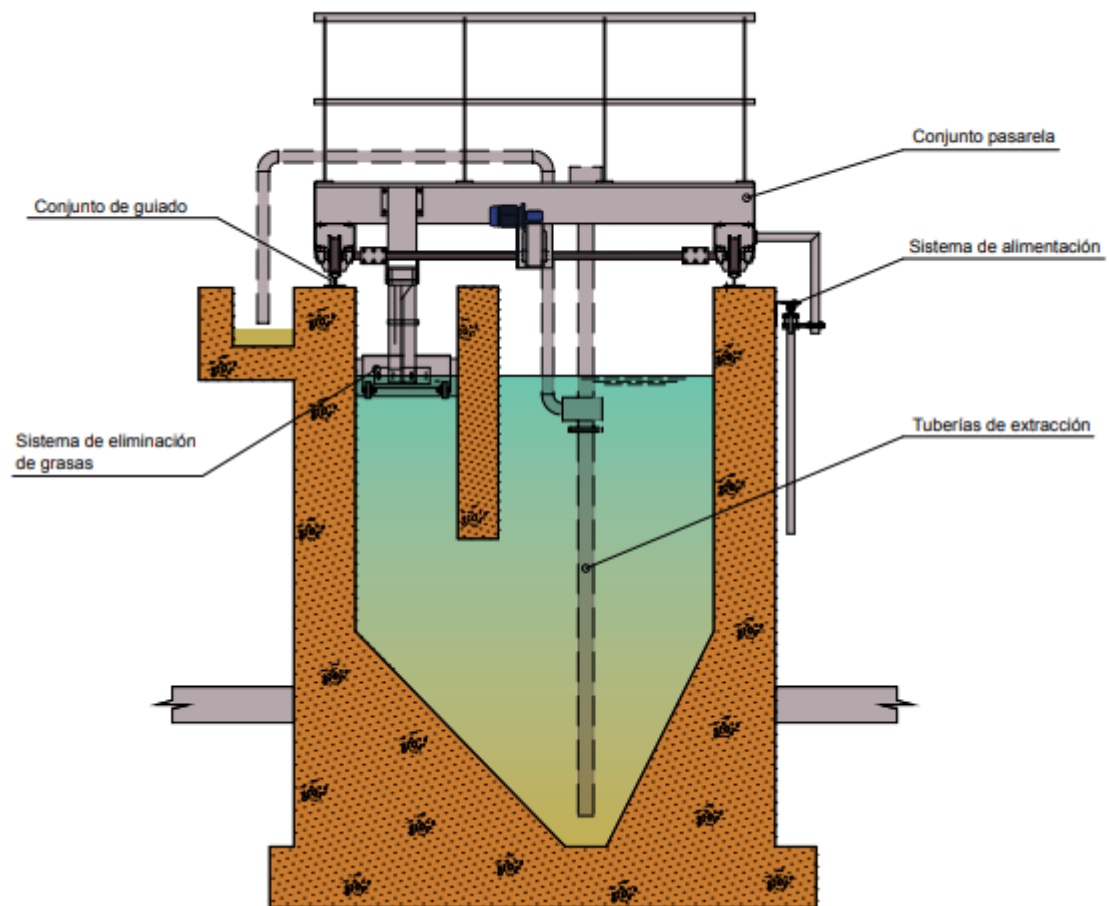


Imagen A4.3 - Vista transversal de Puente Desarenador-Desengrasador. Fuente: Catálogo DAGA

## A4.3. Recinto

### A4.3.1. Adecuación del terreno

Las zonas de la parcela donde deba construirse algún elemento serán adaptadas con ese fin. Se eliminará todo tipo de vegetación en dichas zonas, incluyendo arbustos y árboles, así como rocas o cualquier otro objeto que impida la normal realización de las obras.

### A4.3.2. Vallado exterior

Todo el recinto delimitado por el Plano 06 estará vallado por vallas de entre 2,5 y 3m de altura, siguiendo el trazado que allí se especifica.

Las vallas serán fijas y permanentes.

El trazado del vallado podrá desviarse ligeramente en los siguientes casos:

- Por impedimentos del terreno.
- Porque no puede asegurarse la estabilidad de las vallas.

El recinto cerrado tendrá dos puertas dobles, una en cada entrada. Las puertas dobles podrán ser de tipo corredera o con eje, y deben abrirse hacia adentro del recinto en caso de tener eje.

Las puertas deben poder abrirse o cerrarse completamente, y se adecuará el terreno y/o las puertas para no obstaculizar las maniobras de apertura y cierre.

### A4.3.3. Calle

La calle proyectada unirá el camino perimetral del circuito con la calle Camí Fondo de Can Gultet. La calle se asfaltará en toda su superficie.

El ancho será de 8 metros constante. En las intersecciones con estas calles se ensanchará la unión, facilitando el giro de vehículos largos.

La calle tendrá un pendiente máximo del 5%, con ausencia de escalones y pendientes abruptos. Si es necesario superar un desnivel importante, se adecuará el pendiente para que el tránsito por dicho desnivel sea uniforme y constante.

## **A5. Almacenamiento (depósitos)**

El almacenamiento debe realizarse en tanques o depósitos enterrados en los puntos estipulados en proyecto. Los puntos están marcados tanto en la memoria como en el plano de almacenamiento.

Los tanques deben realizarse a partir de excavaciones en las que se logre la capacidad marcada en proyecto de cada uno de los tanques. La forma de las excavaciones debe ser cuadrada y con las dimensiones estipuladas en cada caso.

La parte superior de cada tanque debe cubrirse con una losa de hormigón con espesor suficiente para asegurar el sellado del recinto.

Las paredes y el suelo de las excavaciones deben ser cubiertas con un material resistente a los fenómenos contraproducentes causados por la humedad y también al peso que ejercerá la tierra contra dichas paredes. El material más idóneo para cumplir estas funciones es el hormigón.

Se debe realizar una limpieza periódica de todos los tanques y comprobar que no sufren desperfectos. Antes de realizar el proceso de limpieza de un depósito debe vaciarse al completo. El agua que contenga en su interior debe ser transportada a otro de los tanques del circuito. Por lo tanto, la limpieza debe realizarse de manera escalonada.

## **A6. Recomendaciones de uso**

### **A6.1. Riego**

Se recomienda, durante los eventos de riego, no circular vehículos por la pista del circuito cuando los aspersores están en funcionamiento. La mejor práctica es el riego del circuito durante la duración deseada, para simular lluvia durante ese periodo, detener el riego y poner en funcionamiento las pruebas de motor.

Se recomienda emplear los seccionamientos provistos por la sectorización y los juegos de válvulas para regar zonas concretas si es éste el objetivo, reduciendo el consumo de agua y el impacto ambiental.

No se recomienda utilizar el sistema de riego mientras exista precipitación natural.

## **A6.2. Drenaje y obtención de agua**

Se recomienda, si se pretende incrementar el potencial de recolección de agua, la colocación de lonas geotextiles en las zonas contiguas a la pista que cuenten con pendiente favorable a desviar caudal hacia la pista. De esta forma, se aumenta el área de drenaje y la cantidad de agua disponible.

Se recomienda desviar el caudal de agua drenada al desagüe público cuando el tanque principal, colocado en la depuradora, alcance el 90% de su capacidad.

## Anejo B: Planos

### Índice de planos

Plano	Número
Localización del circuito	01
Emplazamiento de la depuradora	02
Distribución y dimensión de tanques	03
Instalación de riego	04
Ampliación del sistema de drenaje	05
Depuradora	06






— Límite del circuito

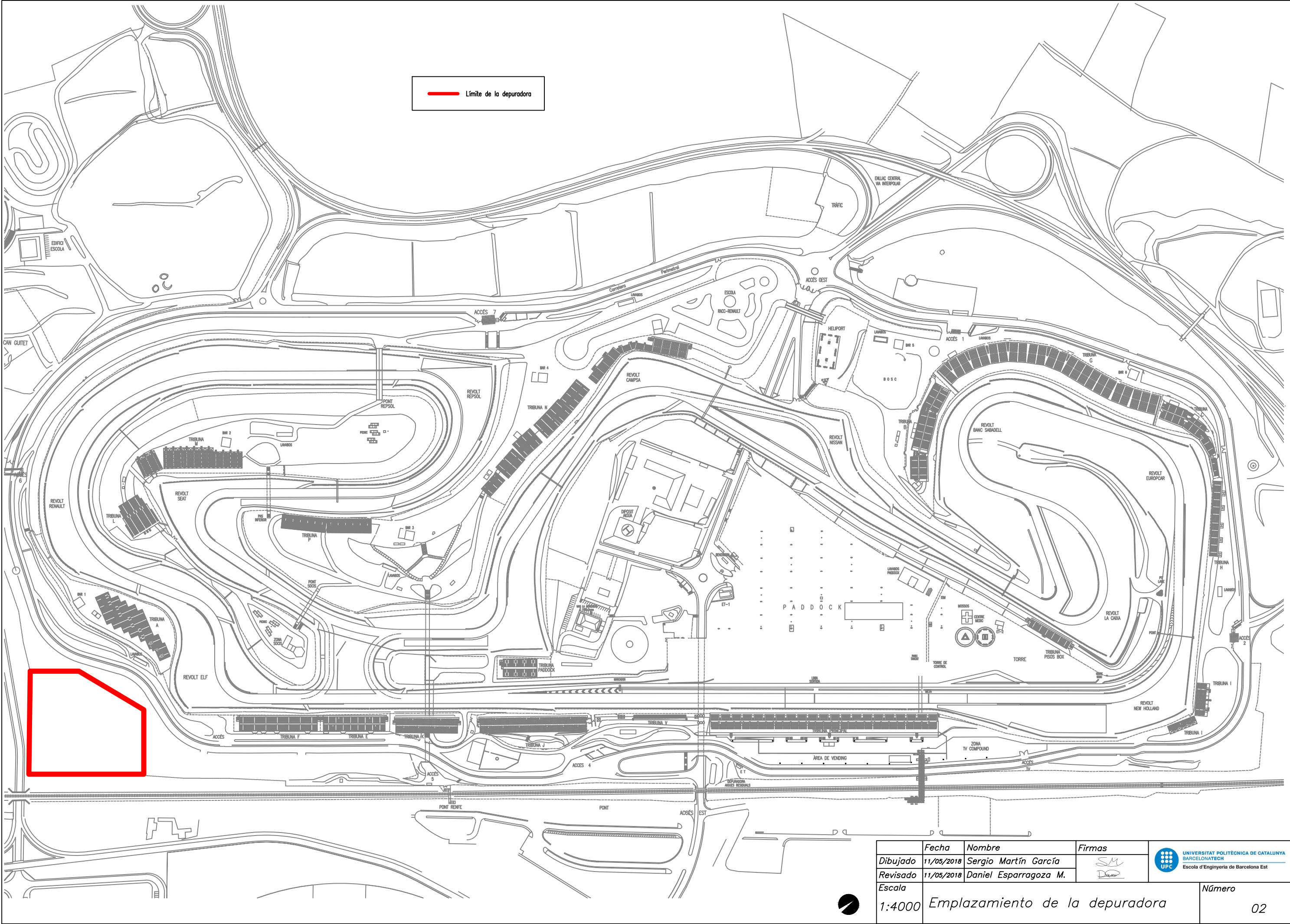
C-17




Montmeló

E-15

	Fecha	Nombre	Firmas	 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola d'Enginyeria de Barcelona Est</div>
Dibujado	23/05/2018	Sergio Martín García		
Revisado	23/05/2018	Daniel Esparragoza M.		
Escala				
1:10000	Localización del circuito			Número 01





	Fecha	Nombre	Firmas	 <div>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH</div> <div>Escola d'Enginyeria de Barcelona Est</div>
Dibujado	11/05/2018	Sergio Martín García		
Revisado	11/05/2018	Daniel Esparragoza M.		
Escala				
1:4000	Emplazamiento de la depuradora			Número 02



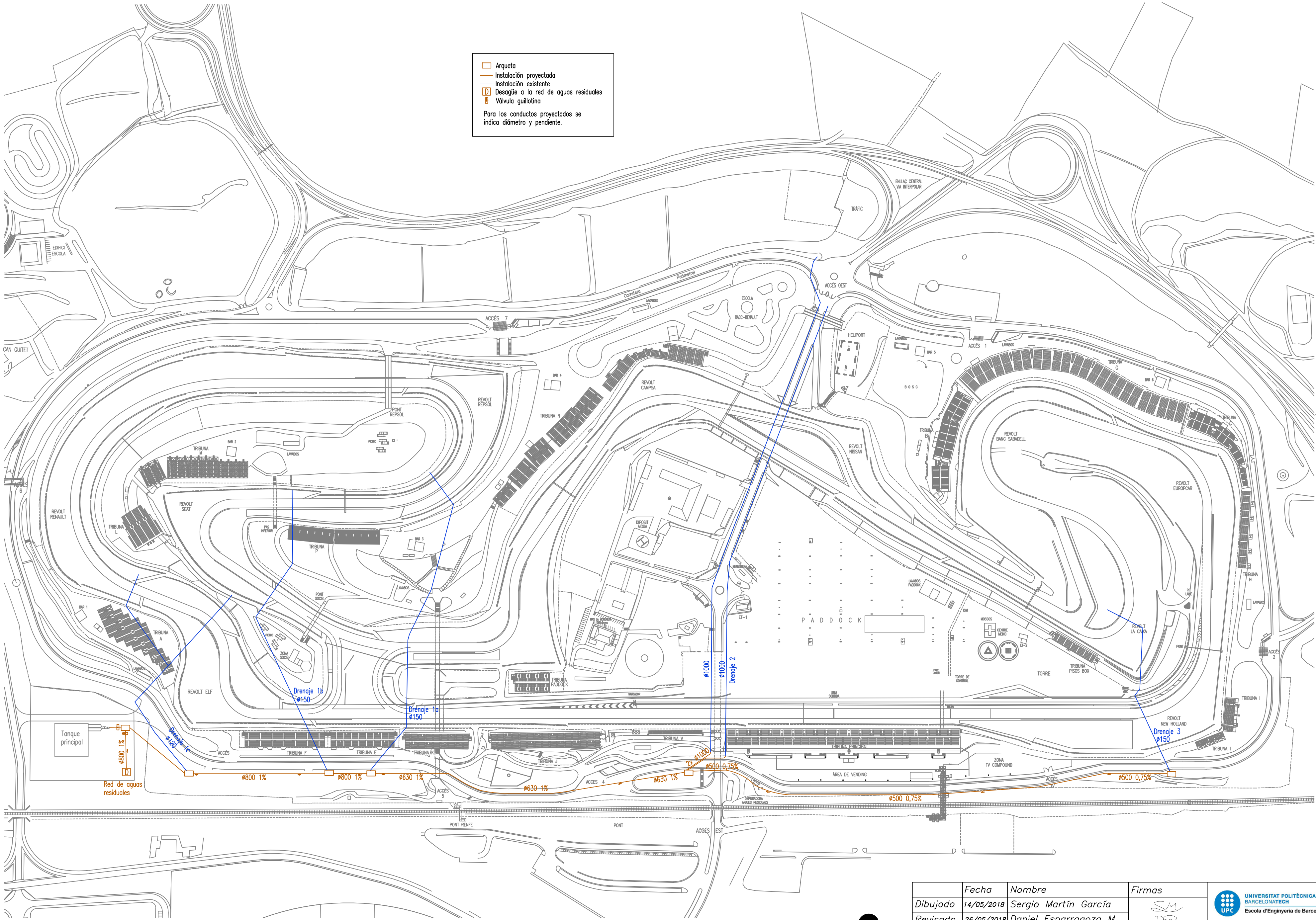
23







04



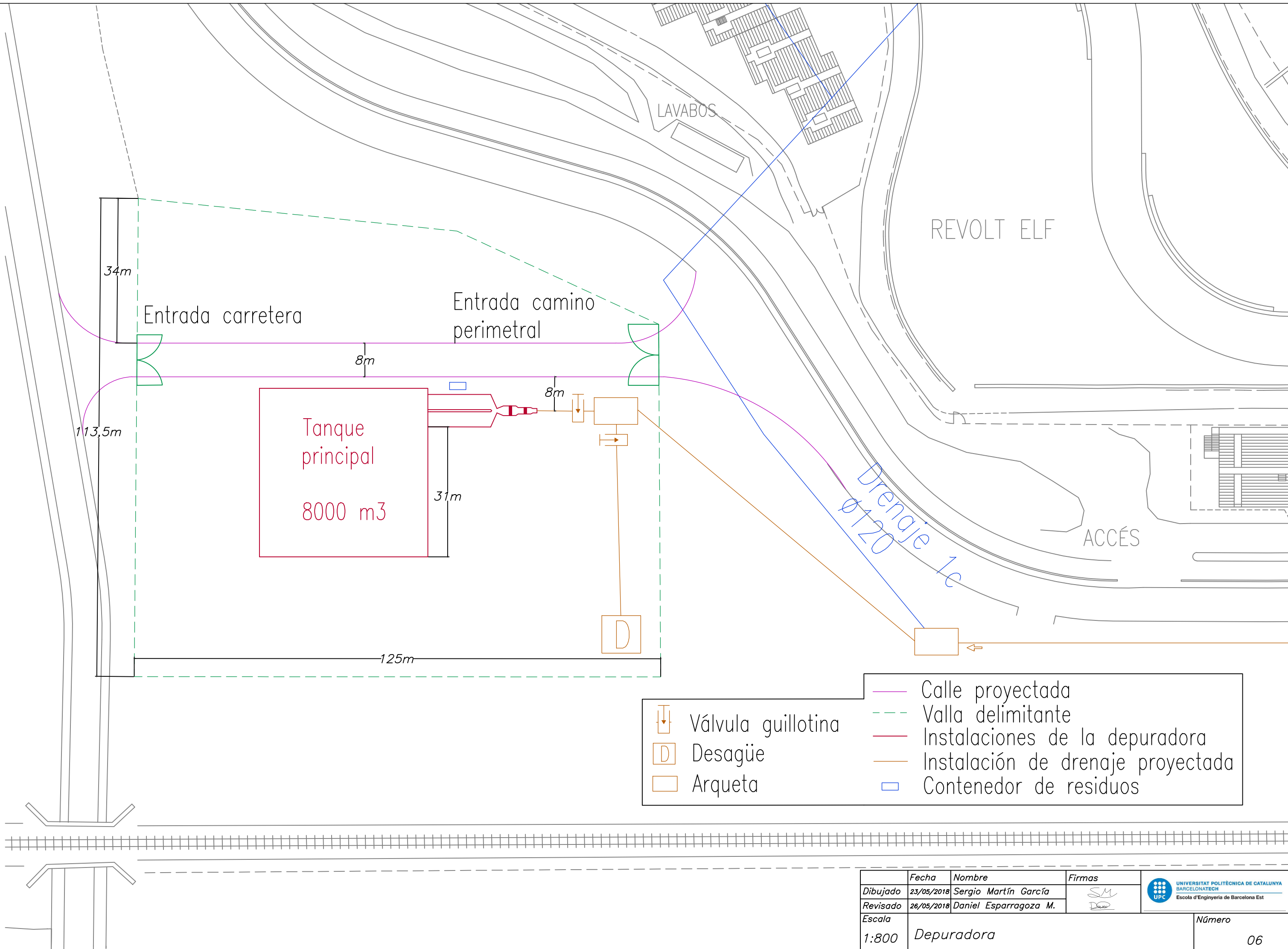


Arqueta  
Instalación proyectada  
Instalación existente  
Desagüe a la red de aguas residuales  
Válvula guillotina

Para los conductos proyectados se indica diámetro y pendiente.

	Fecha	Nombre	Firmas	 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola d'Enginyeria de Barcelona Est
Dibujado	14/05/2018	Sergio Martín García		
Revisado	26/05/2018	Daniel Esparragoza M.		
Escala				
1:3000	Ampliación del sistema de drenaje		Número	





- Calle proyectada
- Valla delimitante
- Instalaciones de la depuradora
- Instalación de drenaje proyectada
- Contenedor de residuos
- Válvula guillotina
- Desagüe
- Arqueta

	Fecha	Nombre	Firmas	
Dibujado	23/05/2018	Sergio Martín García		UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA BARCELONATECH Escola d'Enginyeria de Barcelona Est
Revisado	26/05/2018	Daniel Esparragoza M.		
Escala	1:800	Depuradora		
				Número 06

## Anejo C: Fichas técnicas

Se adjunta, a continuación, la ficha técnica del aspersor I-25 de Hunter.



- 01 **Robusto:** El retorno automático del sector y un engranaje no desmontable lo hacen resistente al vandalismo
- 02 **Versátil:** Sectorial o círculo completo en mismo aspersor, de 50° a 360°
- 03 **Eficiente:** válvula anti-drenaje incorporada ahorra agua y reduce responsabilidades

## I-25 ASPERSOR DE ALTO RENDIMIENTO

### *Este Resistente Aspersor de Turbina Puede con Cualquier Instalación Comercial*

El I-25 hace su trabajo con potencia, eficiencia y fiabilidad. Con un amplio radio de riego entre 11,9 a 21,6 m, esta turbina puede utilizarse en una gran variedad de aplicaciones y entornos. Diseño compacto y robusto. se entrega con un vástago de acero inoxidable opcional para hacerlo todavía más resistente. Con cinco años de garantía, el I-25 también tiene opciones para identificar uso de agua reciclada y alta velocidad. Incorpora una válvula de retención estándar y hay disponible una amplia selección de toberas de alto rendimiento. Eficaces, resistentes y hechas para durar, las turbinas I-25 de Hunter trabajan duro cada día para que usted no tenga que hacerlo.

## I-25 CARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICACIONES

### Características

- Modelos: 10 y 15 cm
- Modelos con vástago inoxidable: 10 y 15 cm
- Configuración del sector: de 50 a 360 grados
- Tapa de goma instalada de fábrica
- Ajuste sector por la parte superior
- Mecanismo verificación rápida sector
- Engranaje lubricado por agua
- Tipos de tobera: 12
- Modelos de tobera: de #4 a #2
- Período de garantía: 5 años

### Especificaciones

- Radio: de 11,9 a 21,6 m
- Flow rate: 0.82 to 7.24 m<sup>3</sup>/hr; 13.6 to 120.7 l/min
- Caudal: de 0,82 a 7,24 m<sup>3</sup>/h; de 13,6 a 120,7 l/min
- Intervalo de presión recomendado: de 2,5 a 7,0 bar; de 250 a 700 kPa
- Intervalo de presión de funcionamiento: de 2,5 a 6,9 bares; de 250 a 690 kPa
- Pluviometrías: 15 mm/h aprox.
- Trayectoria tobera: 25 grados

### Modelos

#### I-25-04

Altura total: 20 cm  
Altura de emergencia: 10 cm  
Diámetro expuesto: 5 cm  
Conexión: 1" BSP



#### I-25-06

Altura total: 26 cm  
Altura de emergencia: 15 cm  
Diámetro expuesto: 5 cm  
Conexión: 1" BSP



### I-25 (PLÁSTICO) - ESPECIFICACIONES: ORDEN 1 + 2 + 3 + 4

1	Modelo	2	Características Estándar	3	Características Opcionales	4	Toberas Opcionales
	I-25-04 = Emergencia de 10 cm I-25-06 = Emergencia de 15 cm		Sector ajustable, vástago de plástico, válvula antidrenaje, y 5 toberas		B = Conexión roscada BSP R = Identificador de agua reciclada		de #4 a #28 = Número de tobera instalado de fábrica

### I-25 (ACERO INOXIDABLE) - ESPECIFICACIONES: ORDEN 1 + 2 + 3 + 4

1	Modelo	2	Características Estándar	3	Características Opcionales	4	Toberas Opcionales
	I-25-04-SS = Emergencia de 10 cm I-25-06-SS = Emergencia de 15 cm		Sector ajustable, vástago de acero inoxidable, válvula antidrenaje, y 5 toberas		B = Conexión roscada BSP R = Identificador de agua reciclada HS = Alta velocidad HS-R = Alta velocidad e identificador de agua reciclada		de #4 a #28 = Número de tobera instalado de fábrica

#### Ejemplos:

I-25-04 - B = Emergencia de 10 cm, sector ajustable, conexión roscada BSP

I-25-04-SS - R - B- 18 = Emergencia de 10 cm, sector ajustable, vástago de acero inoxidable, conexión roscada BSP, identificador de agua reciclada y 18 toberas

I-25-06-SS - B = Emergencia de 15 cm, sector ajustable, vástago de acero inoxidable, alta velocidad, identificador de agua reciclada y conexión roscada BSP

**Website** [hunterindustries.com](http://hunterindustries.com) | **Asistencia Técnica** [SoporteTecnico@hunterindustries.com](mailto:SoporteTecnico@hunterindustries.com)

Lo que nos motiva es contribuir al éxito de nuestros clientes. Aunque nuestra pasión por la innovación y la ingeniería está presente en todo lo que hacemos, es el compromiso que hemos contraído de ofrecerle una asistencia excepcional lo que nos hace albergar la esperanza de que siga formando parte de la familia de clientes de Hunter en los próximos años.

  
Gregory R. Hunter, President of Hunter Industries

## Anejo D: Cálculos de la red de distribución de agua

### D1. Variables

- L: longitud del tramo (m)
- D: diámetro del conducto (m)
- Q: caudal del tramo (m<sup>3</sup>/s)
- C: velocidad del agua en el tramo (m/s)
- ΔH: pérdida de carga en altura (m)

Las filas resaltadas muestran el punto crítico de cada sector.

### D2. Sector 1

Aspersor	Tramo	L (m)	D (m)	Q (m <sup>3</sup> /s)	C (m/s)	Δh (m)
	1 a 2	6	0,3	0,1496	2,116	0,670
	Grupo de presión			0,1496		0,000
	2 a 3	120	0,3	0,1496	2,116	7,733
	3 a 4	50,32	0,25	0,0748	1,524	1,601
	4 a 5	29,68	0,25	0,0561	1,143	0,527
	5 a 6	39,3	0,2	0,0376	1,196	0,984
	6 a 7	6,43	0,1	0,0207	2,632	2,430
	7 a 8	15,83	0,1	0,0207	2,632	5,039
1	8 a 9	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	8 a 10	17,7	0,1	0,0188	2,394	4,747
2	10 a 11	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	10 a 12	17,7	0,1	0,0169	2,156	3,850
3	12 a 13	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	12 a 14	17,7	0,1	0,0151	1,918	3,047
4	14 a 15	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	14 a 16	17,7	0,1	0,0132	1,680	2,338
5	16 a 17	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	16 a 18	17,7	0,075	0,0113	2,563	8,193
6	18 a 19	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	18 a 20	17,28	0,075	0,0095	2,140	5,583
7	20 a 21	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	20 a 22	18,34	0,075	0,0076	1,716	3,802

Aspersor	Tramo	L (m)	D (m)	Q (m <sup>3</sup> /s)	C (m/s)	Δh (m)
8	22 a 23	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	22 a 24	18,74	0,075	0,0057	1,293	2,204
9	24 a 25	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	24 a 26	19,04	0,05	0,0038	1,957	9,476
10	26 a 27	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	26 a 28	19,65	0,04	0,0020	1,570	8,933
11	28 a 29	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	7 a 30	6,43	0,1	0,0169	2,154	1,733
	30 a 31	192,7	0,1	0,0169	2,154	38,690
12	31 a 32	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	31 a 33	19,18	0,1	0,0150	1,915	3,414
13	33 a 34	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	33 a 35	18,82	0,1	0,0132	1,677	2,575
14	35 a 36	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	35 a 37	24,94	0,075	0,0113	2,559	11,629
15	37 a 38	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	37 a 39	18,6	0,075	0,0094	2,135	5,962
16	39 a 40	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	39 a 41	23,53	0,075	0,0076	1,712	5,128
17	41 a 42	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	41 a 43	24,06	0,063	0,0057	1,827	7,421
18	43 a 44	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	43 a 45	22,54	0,063	0,0038	1,227	3,141
19	45 a 46	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	45 a 47	20,19	0,04	0,0020	1,555	9,163
20	47 a 48	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	4 a 49	31,99	0,1	0,0187	2,381	8,182
	49 a 50	104,32	0,075	0,0094	2,116	31,822
21	50 a 51	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	50 a 52	18,26	0,063	0,0075	2,400	9,585
22	52 a 53	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	52 a 54	36,09	0,063	0,0056	1,800	10,698
23	54 a 55	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	54 a 56	28,54	0,05	0,0037	1,905	13,612
24	56 a 57	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	56 a 58	17,1	0,04	0,0019	1,488	6,998
25	58 a 59	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	49 a 60	85,57	0,075	0,0094	2,116	26,172
26	60 a 61	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	60 a 62	18,36	0,063	0,0075	2,400	9,635
27	62 a 63	3	0,032	0,0019	2,325	4,571



Aspersor	Tramo	L (m)	D (m)	Q (m³/s)	C (m/s)	Δh (m)
	62 a 64	28,75	0,063	0,0056	1,800	8,666
28	64 a 65	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	64 a 66	18,93	0,05	0,0037	1,905	9,064
29	66 a 67	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	66 a 68	24,56	0,04	0,0019	1,488	10,154
30	68 a 69	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	3 a 70	10,52	0,25	0,0748	1,524	0,550
	70 a 71	281,09	0,2	0,0374	1,190	6,646
	71 a 72	54,43	0,1	0,0187	2,381	13,659
31	72 a 73	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	72 a 74	38,63	0,1	0,0168	2,143	8,117
32	74 a 75	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	74 a 76	34,17	0,1	0,0150	1,905	5,717
33	76 a 77	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	76 a 78	32,29	0,1	0,0131	1,667	4,153
34	78 a 79	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	78 a 80	21,76	0,075	0,0112	2,540	10,038
35	80 a 81	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	80 a 82	17,25	0,075	0,0094	2,116	5,453
36	82 a 83	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	82 a 84	23,25	0,063	0,0075	2,400	12,364
37	84 a 85	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	84 a 86	17,7	0,063	0,0056	1,800	5,235
38	86 a 87	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	86 a 88	17,7	0,05	0,0037	1,905	8,361
39	88 a 89	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	88 a 90	17,7	0,04	0,0019	1,488	7,240
40	90 a 91	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	71 a 92	180,51	0,1	0,0187	2,381	45,323
41	92 a 93	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	92 a 94	23,75	0,1	0,0168	2,143	5,210
42	94 a 95	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	94 a 96	24,84	0,1	0,0150	1,905	4,287
43	96 a 97	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	96 a 98	24,72	0,1	0,0131	1,667	3,269
44	98 a 99	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	98 a 100	23,74	0,075	0,0112	2,540	10,940
45	100 a 101	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	100 a 102	21,39	0,075	0,0094	2,116	6,896
46	102 a 103	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	102 a 104	17,7	0,063	0,0075	2,400	9,303

Aspersor	Tramo	L (m)	D (m)	Q (m <sup>3</sup> /s)	C (m/s)	Δh (m)
47	104 a 105	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	104 a 106	17,7	0,063	0,0056	1,800	5,235
48	106 a 107	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	106 a 108	22,02	0,05	0,0037	1,905	10,510
49	108 a 109	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	108 a 110	24,69	0,04	0,0019	1,488	10,206
50	110 a 111	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	70 a 112	9,48	0,2	0,0374	1,190	0,304
	112 a 113	183,53	0,1	0,0187	2,381	45,424
51	113 a 114	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	113 a 115	22,94	0,1	0,0168	2,143	5,050
52	115 a 116	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	115 a 117	19,85	0,1	0,0150	1,905	3,674
53	117 a 118	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	117 a 119	22,07	0,1	0,0131	1,667	2,824
54	119 a 120	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	119 a 121	24,36	0,075	0,0112	2,540	11,207
55	121 a 122	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	121 a 123	23,67	0,075	0,0094	2,116	7,578
56	123 a 124	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	123 a 125	17,3	0,063	0,0075	2,400	9,101
57	125 a 126	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	125 a 127	17,7	0,063	0,0056	1,800	5,235
58	127 a 128	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	127 a 129	17,7	0,05	0,0037	1,905	8,361
59	129 a 130	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	129 a 131	17,7	0,04	0,0019	1,488	7,240
60	131 a 132	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	112 a 133	27,54	0,1	0,0187	2,381	7,732
61	133 a 134	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	133 a 135	17,7	0,1	0,0168	2,143	3,803
62	135 a 136	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	135 a 137	17,7	0,1	0,0150	1,905	3,006
63	137 a 138	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	137 a 139	17,7	0,1	0,0131	1,667	2,302
64	139 a 140	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	139 a 141	17,7	0,075	0,0112	2,540	8,045
65	141 a 142	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	141 a 143	17,7	0,075	0,0094	2,116	5,588
66	143 a 144	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	143 a 145	17,7	0,063	0,0075	2,400	9,303

Aspersor	Tramo	L (m)	D (m)	Q (m³/s)	C (m/s)	Δh (m)
<b>67</b>	<b>145 a 146</b>	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	<b>145 a 147</b>	17,7	0,063	0,0056	1,800	5,235
<b>68</b>	<b>147 a 148</b>	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	<b>147 a 149</b>	17,7	0,05	0,0037	1,905	8,361
<b>69</b>	<b>149 a 150</b>	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	<b>149 a 151</b>	17,7	0,04	0,0019	1,488	7,240
<b>70</b>	<b>151 a 152</b>	3	0,032	0,0019	2,325	5,094
	<b>5 a 153</b>	5	0,1	0,0185	2,357	1,564
	<b>153 a 154</b>	32,42	0,075	0,0093	2,095	9,990
<b>71</b>	<b>154 a 155</b>	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	<b>154 a 156</b>	17,7	0,063	0,0074	2,370	9,072
<b>72</b>	<b>156 a 157</b>	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	<b>156 a 158</b>	17,7	0,063	0,0055	1,770	5,062
<b>73</b>	<b>158 a 159</b>	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	<b>158 a 160</b>	17,7	0,05	0,0036	1,857	7,949
<b>74</b>	<b>160 a 161</b>	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	<b>160 a 162</b>	17,7	0,04	0,0018	1,414	6,576
<b>75</b>	<b>162 a 163</b>	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	<b>153 a 164</b>	78,14	0,075	0,0093	2,095	23,385
<b>76</b>	<b>164 a 165</b>	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	<b>164 a 166</b>	17,7	0,063	0,0074	2,370	9,072
<b>77</b>	<b>166 a 167</b>	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	<b>166 a 168</b>	19,3	0,063	0,0055	1,770	5,804
<b>78</b>	<b>168 a 169</b>	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	<b>168 a 170</b>	18,95	0,05	0,0036	1,857	8,626
<b>79</b>	<b>170 a 171</b>	3	0,032	0,0019	2,325	4,571
	<b>170 a 172</b>	17,41	0,04	0,0018	1,414	6,430
<b>80</b>	<b>172 a 173</b>	3	0,032	0,0019	2,325	4,571

**Tabla D1** – Cálculo hidráulico para el Sector 1.

## D3. Sector 2

Aspersor	Tramo	L (m)	D (m)	Q (m <sup>3</sup> /s)	C (m/s)	$\Delta h$ (m)
	1 a 2	5	0,6	0,3366	1,190	0,125
	Grupo de presión			0,3366		0,000
	2 a 3	3,07	0,6	0,3366	1,190	0,181
	3 a 4	89,93	0,3	0,14959985	2,116	3,945
	4 a 5	193,49	0,3	0,14959985	2,116	8,415
1	5 a 6	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	5 a 7	17,7	0,175	0,05422994	2,255	2,037
2	7 a 8	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	7 a 9	17,7	0,175	0,05235994	2,177	1,899
3	9 a 10	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	9 a 11	17,7	0,175	0,05048994	2,099	1,766
4	11 a 12	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	11 a 13	17,7	0,175	0,04861994	2,021	1,637
5	13 a 14	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	13 a 15	17,7	0,175	0,04674994	1,944	1,514
6	15 a 16	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	15 a 17	17,7	0,175	0,04487994	1,866	1,395
7	17 a 18	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	17 a 19	17,7	0,175	0,04300994	1,788	1,281
8	19 a 20	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	19 a 21	17,7	0,175	0,04113994	1,710	1,172
9	21 a 22	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	21 a 23	17,7	0,15	0,03926994	2,222	2,392
10	23 a 24	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	23 a 25	17,7	0,15	0,03739994	2,116	2,170
11	25 a 26	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	25 a 27	17,7	0,15	0,03552994	2,011	1,958
12	27 a 28	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	27 a 29	17,7	0,15	0,03365994	1,905	1,758
13	29 a 30	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	29 a 31	17,7	0,15	0,03178994	1,799	1,568
14	31 a 32	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	31 a 33	17,7	0,125	0,02991994	2,438	3,642
15	33 a 34	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	33 a 35	17,7	0,125	0,02804994	2,286	3,201
16	35 a 36	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	35 a 37	17,7	0,125	0,02617994	2,133	2,788
17	37 a 38	3	0,032	0,00187	2,325	4,571

Aspersor	Tramo	L (m)	D (m)	Q (m <sup>3</sup> /s)	C (m/s)	Δh (m)
	37 a 39	17,7	0,125	0,02430994	1,981	2,404
18	39 a 40	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	39 a 41	17,7	0,125	0,02243994	1,829	2,049
19	41 a 42	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	41 a 43	17,7	0,125	0,02056994	1,676	1,722
20	43 a 44	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	43 a 45	17,7	0,125	0,01869994	1,524	1,423
21	45 a 46	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	45 a 47	17,7	0,1	0,01682994	2,143	3,803
22	47 a 48	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	47 a 49	17,7	0,1	0,01495994	1,905	3,006
23	49 a 50	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	49 a 51	17,7	0,1	0,01308994	1,667	2,302
24	51 a 52	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	51 a 53	17,7	0,075	0,01121994	2,540	8,045
25	53 a 54	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	53 a 55	17,7	0,075	0,00934994	2,116	5,588
26	55 a 56	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	55 a 57	17,7	0,075	0,00747994	1,693	3,577
27	57 a 58	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	57 a 59	17,7	0,063	0,00560994	1,800	5,235
28	59 a 60	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	59 a 61	17,7	0,05	0,00373994	1,905	8,361
29	61 a 62	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	61 a 63	17,7	0,04	0,00186994	1,488	7,240
30	63 a 64	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	5 a 65	17,7	0,25	0,09349991	1,905	1,063
31	65 a 66	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	65 a 67	17,7	0,25	0,09162991	1,867	0,932
32	67 a 68	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	67 a 69	17,7	0,25	0,08975991	1,829	0,894
33	69 a 70	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	69 a 71	17,7	0,25	0,08788991	1,790	0,857
34	71 a 72	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	71 a 73	17,7	0,25	0,08601991	1,752	0,821
35	73 a 74	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	73 a 75	17,7	0,25	0,08414991	1,714	0,786
36	75 a 76	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	75 a 77	17,7	0,25	0,08227991	1,676	0,751
37	77 a 78	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	77 a 79	17,7	0,2	0,08040991	2,560	2,242

Aspersor	Tramo	L (m)	D (m)	Q (m <sup>3</sup> /s)	C (m/s)	$\Delta h$ (m)
38	79 a 80	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	79 a 81	17,7	0,2	0,07853991	2,500	2,139
39	81 a 82	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	81 a 83	17,7	0,2	0,07666991	2,440	2,039
40	83 a 84	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	83 a 85	17,7	0,2	0,07479991	2,381	1,941
41	85 a 86	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	85 a 87	17,7	0,2	0,07292991	2,321	1,845
42	87 a 88	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	87 a 89	17,7	0,2	0,07105991	2,262	1,751
43	89 a 90	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	89 a 91	17,7	0,2	0,06918991	2,202	1,661
44	91 a 92	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	91 a 93	17,7	0,2	0,06731991	2,143	1,572
45	93 a 94	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	93 a 95	17,7	0,2	0,06544991	2,083	1,486
46	95 a 96	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	95 a 97	17,7	0,2	0,06357991	2,024	1,402
47	97 a 98	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	97 a 99	17,7	0,175	0,06170991	2,566	2,637
48	99 a 100	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	99 a 101	17,7	0,175	0,05983991	2,488	2,480
49	101 a 102	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	101 a 103	17,7	0,175	0,05796991	2,410	2,327
50	103 a 104	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	103 a 105	17,7	0,175	0,05609991	2,332	2,180
51	105 a 106	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	105 a 107	17,7	0,175	0,05422991	2,255	2,037
52	107 a 108	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	107 a 109	17,7	0,175	0,05235991	2,177	1,899
53	109 a 110	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	109 a 111	17,7	0,175	0,05048991	2,099	1,766
54	111 a 112	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	111 a 113	17,7	0,175	0,04861991	2,021	1,637
55	113 a 114	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	113 a 115	17,7	0,175	0,04674991	1,944	1,514
56	115 a 116	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	115 a 117	17,7	0,175	0,04487991	1,866	1,395
57	117 a 118	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	117 a 119	17,7	0,175	0,04300991	1,788	1,281
58	119 a 120	3	0,032	0,00187	2,325	4,571

Aspersor	Tramo	L (m)	D (m)	Q (m³/s)	C (m/s)	Δh (m)
	119 a 121	17,7	0,175	0,04113991	1,710	1,172
59	121 a 122	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	121 a 123	17,7	0,175	0,03926991	1,633	1,068
60	123 a 124	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	123 a 125	16,7	0,175	0,03739991	1,555	1,034
61	125 a 126	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	125 a 127	23,24	0,175	0,03552991	1,477	1,203
62	127 a 128	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	127 a 129	24,65	0,15	0,03365991	1,905	2,520
63	129 a 130	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	129 a 131	16,75	0,15	0,03178991	1,799	1,495
64	131 a 132	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	131 a 133	25,66	0,15	0,02991991	1,693	2,060
65	133 a 134	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	133 a 135	23,2	0,15	0,02804991	1,587	1,664
66	135 a 136	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	135 a 137	16,55	0,15	0,02617991	1,481	1,004
67	137 a 138	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	137 a 139	17,75	0,15	0,02430991	1,376	0,919
68	139 a 140	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	139 a 141	17,7	0,15	0,02243991	1,270	0,782
69	141 a 142	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	141 a 143	17,7	0,15	0,02056991	1,164	0,657
70	143 a 144	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	143 a 145	17,7	0,15	0,01869991	1,058	0,543
71	145 a 146	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	145 a 147	20,1	0,125	0,01682991	1,371	1,379
72	147 a 148	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	147 a 149	20,86	0,125	0,01495991	1,219	1,124
73	149 a 150	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	149 a 151	17,41	0,125	0,01308991	1,067	0,688
74	151 a 152	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	151 a 153	17,85	0,1	0,01121991	1,429	1,705
75	153 a 154	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	153 a 155	17,7	0,1	0,00934991	1,190	1,175
76	155 a 156	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	155 a 157	17,7	0,075	0,00747991	1,693	3,577
77	157 a 158	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	157 a 159	17,7	0,063	0,00560991	1,800	5,234
78	159 a 160	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	159 a 161	17,7	0,063	0,00373991	1,200	2,328

Aspersor	Tramo	L (m)	D (m)	Q (m <sup>3</sup> /s)	C (m/s)	Δh (m)
79	161 a 162	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	161 a 163	17,7	0,04	0,00186991	1,488	7,240
80	163 a 164	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	3 a 365	20	0,3	0,18699813	2,645	1,695
	365 a 165	309,41	0,3	0,11219888	1,587	7,126
81	165 a 166	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	165 a 167	24,23	0,25	0,11032888	2,248	1,957
82	167 a 168	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	167 a 169	17,7	0,25	0,10845888	2,210	1,305
83	169 a 170	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	169 a 171	17,7	0,25	0,10658888	2,171	1,261
84	171 a 172	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	171 a 173	17,7	0,25	0,10471888	2,133	1,217
85	173 a 174	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	173 a 175	17,7	0,25	0,10284888	2,095	1,174
86	175 a 176	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	175 a 177	17,7	0,25	0,10097888	2,057	1,132
87	177 a 178	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	177 a 179	17,7	0,25	0,09910888	2,019	1,090
88	179 a 180	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	179 a 181	17,7	0,25	0,09723888	1,981	1,049
89	181 a 182	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	181 a 183	17,7	0,25	0,09536888	1,943	1,009
90	183 a 184	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	183 a 185	17,7	0,25	0,09349888	1,905	0,970
91	185 a 186	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	185 a 187	17,7	0,25	0,09162888	1,867	0,932
92	187 a 188	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	187 a 189	17,7	0,25	0,08975888	1,829	0,894
93	189 a 190	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	189 a 191	17,7	0,25	0,08788888	1,790	0,857
94	191 a 192	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	191 a 193	17,7	0,25	0,08601888	1,752	0,821
95	193 a 194	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	193 a 195	17,7	0,25	0,08414888	1,714	0,786
96	195 a 196	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	195 a 197	17,7	0,25	0,08227888	1,676	0,751
97	197 a 198	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	197 a 199	17,7	0,2	0,08040888	2,559	2,242
98	199 a 200	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	199 a 201	17,7	0,2	0,07853888	2,500	2,139



Aspersor	Tramo	L (m)	D (m)	Q (m <sup>3</sup> /s)	C (m/s)	Δh (m)
99	201 a 202	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	201 a 203	17,7	0,2	0,07666888	2,440	2,039
100	203 a 204	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	203 a 205	17,7	0,2	0,07479888	2,381	1,941
101	205 a 206	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	205 a 207	17,7	0,2	0,07292888	2,321	1,845
102	207 a 208	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	207 a 209	17,7	0,2	0,07105888	2,262	1,751
103	209 a 300	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	209 a 211	17,7	0,2	0,06918888	2,202	1,660
104	211 a 212	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	211 a 213	17,7	0,2	0,06731888	2,143	1,572
105	213 a 214	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	213 a 215	17,7	0,2	0,06544888	2,083	1,486
106	215 a 216	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	215 a 217	17,7	0,175	0,06357888	2,643	2,799
107	217 a 218	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	217 a 219	17,7	0,175	0,06170888	2,566	2,637
108	219 a 220	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	219 a 221	22,9	0,175	0,05983888	2,488	3,371
109	221 a 222	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	221 a 223	19,44	0,175	0,05796888	2,410	2,518
110	223 a 224	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	223 a 225	19,22	0,175	0,05609888	2,332	2,336
111	225 a 226	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	225 a 227	17,7	0,175	0,05422888	2,255	2,037
112	227 a 228	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	227 a 229	17,7	0,175	0,05235888	2,177	1,899
113	229 a 230	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	229 a 231	17,7	0,175	0,05048888	2,099	1,766
114	231 a 232	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	231 a 233	17,7	0,175	0,04861888	2,021	1,637
115	233 a 234	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	233 a 235	17,7	0,175	0,04674888	1,944	1,514
116	235 a 236	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	235 a 237	17,7	0,175	0,04487888	1,866	1,395
117	237 a 238	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	237 a 239	17,7	0,175	0,04300888	1,788	1,281
118	239 a 240	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	239 a 241	17,52	0,175	0,04113888	1,710	1,162
119	241 a 242	3	0,032	0,00187	2,325	4,571

Aspersor	Tramo	L (m)	D (m)	Q (m <sup>3</sup> /s)	C (m/s)	Δh (m)
	241 a 243	23,02	0,15	0,03926888	2,222	3,013
120	243 a 244	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	243 a 245	22,04	0,15	0,03739888	2,116	2,834
121	245 a 246	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	245 a 247	25,59	0,15	0,03552888	2,011	2,897
122	247 a 248	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	247 a 249	16,4	0,15	0,03365888	1,905	1,646
123	249 a 250	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	249 a 251	25,74	0,15	0,03178888	1,799	2,331
124	251 a 252	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	251 a 253	19,36	0,15	0,02991888	1,693	1,633
125	253 a 254	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	253 a 255	16,94	0,15	0,02804888	1,587	1,253
126	255 a 256	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	255 a 257	28,75	0,125	0,02617888	2,133	4,549
127	257 a 258	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	257 a 259	24,9	0,125	0,02430888	1,981	3,456
128	259 a 260	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	259 a 261	21,81	0,125	0,02243888	1,828	2,626
129	261 a 262	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	261 a 263	18,53	0,125	0,02056888	1,676	1,794
130	263 a 264	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	263 a 265	17,7	0,1	0,01869888	2,381	4,695
131	265 a 266	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	265 a 267	17,7	0,1	0,01682888	2,143	3,803
132	267 a 268	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	267 a 269	17,7	0,1	0,01495888	1,905	3,005
133	269 a 270	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	269 a 271	17,7	0,1	0,01308888	1,667	2,301
134	271 a 272	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	271 a 273	17,7	0,075	0,01121888	2,539	8,043
135	273 a 274	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	273 a 275	17,7	0,075	0,00934888	2,116	5,586
136	275 a 276	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	275 a 277	17,7	0,075	0,00747888	1,693	3,576
137	277 a 278	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	277 a 279	17,7	0,075	0,00560888	1,270	2,012
138	279 a 280	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	279 a 281	17,7	0,05	0,00373888	1,904	8,356
139	281 a 282	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	281 a 283	15,75	0,04	0,00186888	1,487	6,576

Aspersor	Tramo	L (m)	D (m)	Q (m³/s)	C (m/s)	Δh (m)
140	283 a 284	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	365 a 285	18,24	0,2	0,07479925	2,381	2,422
141	285 a 286	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	285 a 287	21,84	0,15	0,03739961	2,116	2,813
142	287 a 288	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	287 a 289	17,87	0,15	0,03552961	2,011	2,160
143	289 a 290	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	289 a 291	22,36	0,15	0,03365961	1,905	2,324
144	291 a 292	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	291 a 293	24,38	0,15	0,03178961	1,799	2,227
145	293 a 294	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	293 a 295	17,7	0,15	0,02991961	1,693	1,389
146	295 a 296	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	295 a 297	17,7	0,15	0,02804961	1,587	1,221
147	297 a 298	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	297 a 299	17,7	0,15	0,02617961	1,481	1,064
148	299 a 300	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	299 a 301	17,7	0,125	0,02430961	1,981	2,404
149	301 a 302	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	301 a 303	17,7	0,125	0,02243961	1,829	2,049
150	303 a 304	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	303 a 305	17,7	0,125	0,02056961	1,676	1,722
151	305 a 306	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	305 a 307	17,7	0,1	0,01869961	2,381	4,695
152	307 a 308	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	307 a 309	17,7	0,1	0,01682961	2,143	3,803
153	309 a 310	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	309 a 311	17,7	0,1	0,01495961	1,905	3,005
154	311 a 312	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	311 a 313	17,7	0,1	0,01308961	1,667	2,301
155	313 a 314	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	313 a 315	31,98	0,1	0,01121961	1,429	3,040
156	315 a 316	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	315 a 317	25,96	0,075	0,00934961	2,116	8,261
157	317 a 318	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	317 a 319	20,76	0,075	0,00747961	1,693	4,294
158	319 a 320	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	319 a 321	19,67	0,05	0,00560961	2,857	21,582
159	321 a 322	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	321 a 323	19,76	0,05	0,00373961	1,905	9,471
160	323 a 324	3	0,032	0,00187	2,325	4,571

Aspersor	Tramo	L (m)	D (m)	Q (m <sup>3</sup> /s)	C (m/s)	$\Delta h$ (m)
	323 a 325	21,66	0,04	0,00186961	1,488	8,935
161	325 a 326	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	285 a 327	11,33	0,15	0,03552964	2,011	1,453
162	327 a 328	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	327 a 329	26,27	0,15	0,03365964	1,905	2,659
163	329 a 330	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	329 a 331	25,26	0,15	0,03178964	1,799	2,295
164	331 a 332	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	331 a 333	23,27	0,15	0,02991964	1,693	1,898
165	333 a 334	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	333 a 335	28,97	0,15	0,02804964	1,587	2,008
166	335 a 336	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	335 a 337	17,7	0,125	0,02617964	2,133	2,788
167	337 a 338	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	337 a 339	17,7	0,125	0,02430964	1,981	2,404
168	339 a 340	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	339 a 341	17,7	0,125	0,02243964	1,829	2,049
169	341 a 342	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	341 a 343	17,7	0,125	0,02056964	1,676	1,722
170	343 a 344	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	343 a 345	17,64	0,125	0,01869964	1,524	1,419
171	345 a 346	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	345 a 347	24,71	0,125	0,01682964	1,371	1,718
172	347 a 348	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	347 a 349	26,26	0,1	0,01495964	1,905	4,648
173	349 a 350	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	349 a 351	31,01	0,1	0,01308964	1,667	4,127
174	351 a 352	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	351 a 353	36,72	0,1	0,01121964	1,429	3,441
175	353 a 354	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	353 a 355	23,01	0,1	0,00934964	1,190	1,564
176	355 a 356	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	355 a 357	23,76	0,075	0,00747964	1,693	4,868
177	357 a 358	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	357 a 359	17,34	0,75	0,00560964	0,013	0,000
178	359 a 360	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	359 a 361	17,7	0,05	0,00373964	1,905	8,360
179	361 a 362	3	0,032	0,00187	2,325	4,571
	361 a 363	17,7	0,04	0,00186964	1,488	7,238
180	363 a 364	3	0,032	0,00187	2,325	4,571

**Tabla D2** – Cálculo hidráulico para el Sector 2.



## D4. Interconexió de tanques

Tanque principal a Tanques 1 y 2					
Tramo	L (m)	D (m)	Q (m³/s)	C (m/s)	Δh (m)
1 a 2	6,42	0,6	0,4862	1,720	0,215
Grupo de presión			0,4862		0,000
2 a 3	33,6	0,6	0,4862	1,720	0,640
3 a 4	481,9	0,3	0,1496	2,116	19,453
2 a 5	665,3	0,5	0,3366	1,714	8,971

**Tabla D3** – Cálculo hidráulico para el tramo del tanque principal a tanques 1 y 2.

Retorno Tanque 1 a Tanque Principal					
Tramo	L (m)	D (m)	Q (m³/s)	C (m/s)	Δh (m)
1 a 2	7,9	0,3	0,1496	2,116	0,311
Grupo de presión			0,1496		0,000
2 a 3	511,1	0,3	0,1496	2,116	20,604

**Tabla D4** – Cálculo hidráulico para el tramo del tanque 1 a tanque principal.

Retorno Tanque 2 a Tanque Principal					
Tramo	L (m)	D (m)	Q (m³/s)	C (m/s)	Δh (m)
1 a 2	7	0,5	0,3366	1,714	0,239
Grupo de presión			0,3366		0,000
2 a 3	687,6	0,5	0,3366	1,714	9,256

**Tabla D5** – Cálculo hidráulico para el tramo del tanque 2 a tanque principal.

Tanque 1 a Tanque 2					
Tramo	L (m)	D (m)	Q (m³/s)	C (m/s)	Δh (m)
1 a 2	10,4	0,3	0,1496	2,116	0,410
Grupo de presión			0,1496		0,000
2 a 3	504,9	0,3	0,1496	2,116	20,588

**Tabla D6** – Cálculo hidráulico para el tramo del tanque 1 a tanque 2.

Tanque 2 a Tanque 1					
Tramo	L (m)	D (m)	Q (m³/s)	C (m/s)	Δh (m)
1 a 2	10,4	0,3	0,1496	2,116	0,410
Grupo de presión			0,1496		0,000
2 a 3	504,9	0,3	0,1496	2,116	20,816

**Tabla D7** – Cálculo hidráulico para el tramo del tanque 2 a tanque 1.

Fin del Proyecto Ejecutivo.



Daniel S. Esparragoza Machado



Sergio Martín García